

L'expertise en police scientifique

sous la direction du

Pr Ivan Ricordel

Professeur agrégé du Val-de-Grâce

Directeur honoraire du
Laboratoire de toxicologie de la
Préfecture de Police (INPS-Paris)



Mise en ligne
25 mars 2015

Ouvrage à disposition selon les termes de la
[licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 4.0 International](#)

Avertissement

Cet ouvrage dont la rédaction a été initiée en 2010 a vu son édition différée pour des raisons indépendantes de la volonté des co-auteurs. Certains chapitres ont pu bénéficier de mises à jour indiquées le cas échéant en bas de page. D'autres en feront l'objet ultérieurement. Il a cependant paru pertinent de mettre d'ores et déjà à disposition du lectorat concerné, la version présente dont le contenu comporte un grand nombre d'informations pouvant lui être utiles en l'état.

Les textes réglementaires et législatifs ou émanant d'organismes de l'État cités dans le texte sont à jour en février 2015 et accessibles en ligne. Lorsqu'elles existent en ligne, les références citées dans le texte sont également accessibles par clic.

Cet ouvrage est mis à disposition selon les termes de la [licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 4.0 International](#).

Sommaire

- Chapitre 1. Législation et réglementation de l'expertise de police scientifique 9**
Fabrice Delbano. *Premier vice-président adjoint : Conseiller référendaire à la Cour de Cassation. Chambre commerciale, financière et économique.*
- Chapitre 2. Gestion de scène de crime 29**
Yves Schuliar. *Sous-directeur Enseignant et Recherche. Institut de recherche criminelle de la Gendarmerie Nationale. Médecin légiste, Docteur en sciences forensiques. Expert près la Cour d'Appel de Paris et agréé par la Cour de Cassation.*
Général Jacques Hébrard. *Expert près la Cour d'Appel de Paris. Diplômé en Criminalistique (Ecole des sciences criminelles de Lausanne). Directeur de l'Institut de recherche criminelle de la Gendarmerie Nationale.*
- Chapitre 3. Rôle et limites de la trace en police scientifique 65**
Ivan Ricordel. *Professeur agrégé du Val-de-Grâce. Membre de l'Académie nationale de Pharmacie. Expert honoraire près la Cour d'Appel de Paris. Directeur honoraire du laboratoire de toxicologie de la préfecture de police (INPS Paris).*
- Chapitre 4. Autopsie et identification des squelettes 89**
Jean-Pierre Campana. *Médecin légiste. Ancien directeur d'enseignement, UER de Médecine légale de l'Université Paris V. Expert honoraire près la Cour d'appel de Paris, expert honoraire agréé par la Cour de Cassation.*
- Chapitre 5. Expertise toxicologique médico-légale 99**
Ivan Ricordel. *Professeur agrégé du Val-de-Grâce. Membre de l'Académie nationale de Pharmacie. Expert honoraire près la Cour d'Appel de Paris. Directeur honoraire du laboratoire de toxicologie de la préfecture de police (INPS Paris).*
Nathalie Milan. *Ingénieur Principal de Police Scientifique. Laboratoire de toxicologie de la préfecture de police de Paris (INPS).*
Pauline Sibille. *Ingénieur principal de Police Scientifique. Laboratoire de toxicologie de la préfecture de police de Paris (INPS).*
Bernadette Devos. *Ingénieur Principal de Police Scientifique. Laboratoire de toxicologie de la préfecture de police de Paris (INPS).*
- Chapitre 6. Expertise toxicologique médico-légale, domaines d'application 151**
Ivan Ricordel. *Professeur agrégé du Val-de-Grâce. Membre de l'Académie nationale de Pharmacie. Expert honoraire près la Cour d'Appel de Paris. Directeur honoraire du laboratoire de toxicologie de la préfecture de police (INPS Paris).*
Nathalie Milan. *Ingénieur Principal de Police Scientifique. Laboratoire de toxicologie de la préfecture de police de Paris (INPS).*
Pauline Sibille. *Ingénieur principal de Police Scientifique. Laboratoire de toxicologie de la préfecture de police de Paris (INPS).*
Bernadette Devos. *Ingénieur Principal de Police Scientifique. Laboratoire de toxicologie de la préfecture de police de Paris (INPS).*

Chapitre 7. L'Expertise de police scientifique en matière de stupéfiants	189
<i>Fabrice Besacier. Ingénieur en Chef. Chef de Division Chimie - Laboratoire de police scientifique de Lyon (INPS).</i>	
Chapitre 8. Les empreintes digitales	209
<i>Christophe Champod. Université de Lausanne, Faculté de droit et des sciences criminelles. Ecole des sciences criminelles. Institut de police scientifique. Batochime. Lausanne.</i>	
<i>Nicole Egli. Université de Lausanne, Faculté de droit et des sciences criminelles. Ecole des sciences criminelles. Institut de police scientifique. Batochime. Lausanne.</i>	
Chapitre 9. Les microsattellites au service de la justice	235
<i>Sandrine Valade. Sous-Directrice. Laboratoire de police scientifique de Paris (INPS).</i>	
Chapitre 10. Expertise en matière d'Incendies	279
<i>Henri Viellard. Directeur honoraire du laboratoire Central de la préfecture de police de Paris. Expert près la Cour de Cassation.</i>	
Chapitre 11. Expertise en matière d'explosions	297
<i>Henri Viellard. Directeur honoraire du laboratoire Central de la préfecture de police de Paris. Expert près la Cour de Cassation.</i>	
Chapitre 12 . Expertise en balistique	313
<i>Philippe Chopin. Ingénieur. Laboratoire de police scientifique de Paris (INPS).</i>	
Chapitre 13 .L'expertise en documents	335
<i>Magali Ley. Ingénieur. Laboratoire de police scientifique de Paris (INPS).</i>	
Chapitre 14. L'expertise en matière d'attentat NRBC	353
Points 1 et 2 : Introduction et organisation des réponses aux menaces	
<i>Ivan Ricordel. Professeur agrégé du Val-de-Grâce. Membre de l'Académie nationale de Pharmacie. Expert honoraire près la Cour d'Appel de Paris. Directeur honoraire du laboratoire de toxicologie de la préfecture de police (INPS Paris).</i>	
<i>Claude Wachtel. Expert NRBC. Secrétariat général de la défense nationale.</i>	
<i>Guillaume Lemagnen. DGPN-DCPJ-PTS. Commissaire divisionnaire, chef du service identité judiciaire et spécialiste NRBC (INPS).</i>	
Point 3 : Terrorisme et agression par des toxiques de guerre	
<i>Frédéric Dorendeu. Pharmacien en chef. Professeur agrégé du service de Santé des Armées. Département de Toxicologie et risques chimiques. Institut de recherche biomédicale. Centre de recherche du service de Santé des Armées.</i>	
Avec la collaboration de S. Bérard, C. Debout, D. Daveloose (DCD), Taudon.	
Point 4 : Rôle des laboratoires dans l'identification des agressions et actes malveillants biologiques	
<i>Dominique Vidal. Pharmacien chef des services hors classe, praticien certifié du Service de Santé des Armées. Docteur es-sciences. Pôle de biologie des agents infectieux. Institut de recherche biomédicale. Centre de recherche du service de Santé des Armées.</i>	
<i>Samuel Forcet. Institut de recherche biomédicale. Centre de recherche du service de Santé des Armées.</i>	

François Thibault. *Pharmacien en chef. Institut de recherche biomédicale. Centre de recherche du service de Santé des Armées.*

Chapitre 15. Police technique et scientifique et preuve numérique **393**

Lieutenant-Colonel Nicolas Duvinage. *Adjoint au chef de l'OCLAESP. Ministère de l'Intérieur DGGN.*

Chapitre 16. Le traitement du signal en criminalistique **427**

Patrick Perrot. *Chef du département signal – image- parole. Institut de recherche criminelle de la Gendarmerie Nationale. En 2013, Chef de Division Analyse et Investigation Criminelle. Ministère de l'Intérieur.*

Chapitre 17. Les services de police scientifique en Europe **451**

Pierre Margot. *Directeur de l'Institut de police scientifique et de criminologie (IPSC). Vice-Doyen de la Faculté de droit et des sciences criminelles. Université de Lausanne.*

Chapitre 18. La preuve scientifique et l'intime conviction **461**

Martine Anzani. *Conseiller honoraire à la Cour de cassation. Présidente honoraire de la Commission de révision des condamnations pénales.*

NOTES TECHNIQUES ou pratiques simplifiées **471**

Préface

L'engouement médiatique de cette dernière décennie et son reflet cinématographique justifiaient d'une part, de faire une mise au point sur la réalité des performances de la police scientifique et d'autre part, de proposer un bilan des moyens réellement disponibles, de leurs mode et contexte d'utilisation ainsi que de leurs limites.

Intégrer cet objectif dans le continuum des problèmes à résoudre en matière de « sciences forensiques » est le but principal de cet ouvrage.

Celui-ci doit permettre à tous les acteurs concernés de trouver l'information complémentaire à son domaine précis d'activité : techniciens de scène de crime, médecins légistes, techniciens et ingénieurs analystes physico-chimistes, toxicologues, biologistes..., officiers de police judiciaire, magistrats, avocats mais aussi industriels, personnels administratifs de police scientifique et élèves des écoles de police et de gendarmerie, étudiants en criminalistique...

Que recherche-t-on ? Que trouve-t-on ? Le périmètre est tracé pour chaque discipline (de celles qui sont au cœur de l'actualité comme les empreintes génétiques, les infractions à la législation sur les stupéfiants à celles moins en lumière comme la toxicologie médico-légale, la balistique, la preuve numérique...). La rédaction respecte une cohérence d'emploi et est étayée par le regard de magistrats d'expérience qui replacent l'immense progrès technologique dont a bénéficié l'expertise en police scientifique depuis 20 ans, au sein de la réalité judiciaire tant au plan législatif et réglementaire qu'au plan de la signification de la preuve d'une trace biologique ou chimique humaine ou matérielle.

Les auteurs ont souhaité réaliser un document accessible aux non spécialistes tout en restant dans la vérité scientifique illustrée par des exemples concrets nourris par leur propre expérience. Plusieurs disciplines font usage en pratique courante de certains moyens techniques qui leur sont communs mais volontairement non explicités dans les chapitres correspondants car considérés connus du plus grand nombre. Cependant quelques notes en fin d'ouvrage permettent aux lecteurs les moins familiarisés avec ces moyens techniques, de prendre connaissance de manière très schématique de leur principe de fonctionnement. Par ailleurs la possibilité pour le lecteur plus curieux d'accéder à une information plus soutenue est possible en ligne, au moyen de renvoi par liens hypertextes, à des articles plus complets.

Enfin, il nous est apparu nécessaire de conclure l'ouvrage par la réflexion utile d'un magistrat aguerri dont l'expertise professionnelle et la hauteur de vue invitent à réfléchir sur le rapport parfois difficile entre l'excellence des moyens dont dispose l'expert compétent et la qualité, la robustesse ou la fragilité de l'information scientifique qu'il délivre à la justice et que celle-ci doit ensuite exploiter.

Ivan Ricordel

Chapitre 1. Législation et réglementation de l'expertise de police scientifique

F. Delbano

1. Introduction

Outre son coût de plus en plus lourd pour la collectivité publique, essentiellement lié au recours de plus en plus fréquent de la part des juridictions, l'expertise joue, dans le domaine pénal, un rôle de premier ordre. Chacun sait en effet à quel point les constatations d'un expert peuvent être essentielles, non seulement au bon déroulement d'une information judiciaire, mais surtout aux suites qui lui seront données et au résultat attendu du procès. Ainsi, qu'une expertise balistique soit insuffisante d'un strict point de vue technique, et ce sera un doute créé dans l'esprit des juges ; que l'ADN ne soit pas correctement conservé ou analysé, et un important élément de preuve sera inopérant, etc. Les exemples ne manquent pas pour démontrer à quel point cette mesure technique qu'est l'expertise ne doit en aucun cas être négligée, qu'elle doit toujours être menée avec la plus grande rigueur scientifique.

Mais en plus de ces nécessités premières, l'expert doit aussi, avec la même rigueur, bien qu'elle ne ressortisse pas de ses compétences naturelles, se montrer extrêmement vigilant dans le respect de la procédure propre à l'expertise, qu'elle soit civile, administrative ou pénale. Nul n'ignore en effet que les irrégularités les plus flagrantes et surtout les plus attentatoires aux droits des parties peuvent avoir de lourdes conséquences sur la régularité d'une procédure, notamment dans le domaine pénal. Aussi l'expert, et c'est particulièrement vrai de l'expert en police scientifique, se doit-il de bien connaître les règles de procédure, faute de quoi son travail pourrait être anéanti et le procès pénal retardé ou lui aussi annihilé.

L'objet de cette brève étude n'est pas de suppléer les ouvrages existants qui font le point, parfois de manière exhaustive, sur le droit de l'expertise. A cet égard, le lecteur qui souhaiterait approfondir certaines questions peu développées ici ou volontairement écartées, ne peut qu'être invité à se tourner vers cette littérature¹. Il n'est en effet question que de présenter, voire de rappeler, certaines des principales règles de l'expertise dans le domaine de la procédure pénale qui est celui où l'expertise de police scientifique intervient principalement, même si ce type d'expertise n'est pas exclu dans le domaine civil ou commercial. Le lecteur trouvera donc en quelque sorte un vade-mecum, volontairement simplifié mais contenant l'essentiel.

Il sera ainsi question d'aborder l'aspect procédural d'abord sous l'angle du choix et de la désignation de l'expert, puis sous celui de l'accomplissement de sa mission par l'expert.

2. Choix et désignation de l'expert

Qu'elles ressortissent de la catégorie des expertises générales destinées à contribuer la manifestation de la vérité, ou plus spécifiquement à celle de la police scientifique, l'expertise obéit à un certain nombre de règles identiques, prévues par le code de procédure pénale. Comme les étapes suivantes, la première étape, qui consiste d'abord à déterminer la nécessité de recourir à une expertise, puis d'en choisir les modalités les plus appropriées, et enfin de désigner un ou plusieurs experts, personnes physiques ou personne morale, est avant tout marquée par la liberté du magistrat ou de la juridiction à l'origine de la mesure, mais au fil du

¹ Pour un ouvrage exhaustif, accessible aux non-juristes : Droit de l'expertise, 2009-2010, collection Dalloz Action, Dalloz, sous la direction de Tony Moussa.

temps les parties se sont vues confier un rôle de plus en plus important, le tout ayant des conséquences sur le rôle de l'expert dans l'accomplissement de cette mesure technique².

2.1. Liberté du magistrat ou de la juridiction

2.1.1. L'opportunité de l'expertise

Hormis les cas où l'expertise est obligatoire³, le recours à cette mesure toujours facultative de la part du magistrat ou de la juridiction. C'est un principe constant, qui résulte de l'article 156 du code de procédure pénale, dont le premier alinéa énonce : « Toute juridiction d'instruction ou de jugement, dans le cas où se pose une question d'ordre technique, peut, soit à la demande du ministère public, soit d'office, ou à la demande des parties, ordonner une expertise. Le ministère public ou la partie qui demande une expertise peut préciser dans sa demande les questions qu'il voudrait voir poser à l'expert ».

C'est donc le juge, ou l'ensemble de la juridiction d'instruction de jugement, ou encore, mais sous certaines réserves, le magistrat du ministère public⁴, qui va apprécier, soit de sa propre initiative, soit en répondant à une demande des parties, s'il est opportun de recourir à une mesure d'expertise, ce que la jurisprudence de la chambre criminelle de la Cour de Cassation rappelle régulièrement, en indiquant que cette appréciation des juges du fond sur la nécessité, l'opportunité ou l'étendue d'une expertise est souveraine, échappe à son contrôle⁵.

Il va sans dire que ces règles sont valables aussi bien pour une expertise qu'une contre-expertise.

De même, il est nécessaire de souligner que si les juges ont en l'espèce un pouvoir souverain, il ne s'agit pour autant pas d'un pouvoir discrétionnaire, ce qui implique pour eux l'obligation de motiver leur choix, en répondant notamment aux demandes des parties et à leurs conclusions, et sans encourir le grief d'insuffisance ou de contradiction de motifs, faute de quoi leur décision ne manquerait pas d'être censurée⁶.

2.1.2. Choix de l'expert ou des experts

Dès lors que la décision de recourir à une expertise a été faite, il appartient, en application de l'article 159 du code de procédure pénale⁷, à l'autorité de décision, de choisir le technicien qui accomplira la mesure, laquelle sera confiée soit à une personne physique, soit à une personne morale, l'expert devant en principe figurer sur une liste, ainsi que cela résulte de l'article 157, qui prévoit de recourir soit à des personnes physiques, soit à des personnes morales.

² Pour un approfondissement de ces aspects procédurux : Droit de l'expertise, 2009-2010, collection Dalloz Action, Dalloz, livre 3, pp. 203-277

³ Op. cit. § 321.22 – 321.26

⁴ Il convient en effet de rappeler qu'en application de l'article 77-1 du code de procédure pénale, le ministère public a la possibilité de recourir à toute personne qualifiée, en vue de procéder à des constatations et examens techniques ou scientifiques. Néanmoins, pour la chambre criminelle de la Cour de Cassation, de telles mesures, bien que par leur nature et leur étendue, elles puissent exactement recouvrir ce que serait la mission donnée à un expert judiciaire par une juridiction, les règles de l'expertise ne s'appliquent pas.

⁵ Pour un exemple : Cass. Crim. 25 mars 1971, pourvois n° 70-90.412, 70-90.413, Bull. crim. n° 111.

⁶ Cass. Crim. 17 octobre 1986, pourvoi n° 89-91.024

⁷ Texte qui concerne le juge d'instruction mais qui s'applique de manière générale aux expertises en raison d'un renvoi opéré par les articles du même code concernant le procédure devant d'autres juridictions : 434 pour le tribunal correctionnel, 512 pour la cour d'appel, 536 pour le tribunal de police et la juridiction de proximité, article 8 de l'ordonnance n° 45-174 relative à l'enfance délinquante pour les juridictions des mineurs, 238 pour la cour d'assises, 207 pour la chambre de l'instruction.

2.1.2.1. Personne physique

Le principe qui prévaut en la matière est le recours à un expert unique⁸. Cette règle est en effet posée par l'article 159 du code de procédure pénale, qui emploie le mot expert au singulier. Il s'ensuit que le choix d'un expert unique, qui est la règle, n'a pas à faire l'objet d'une motivation particulière de la part de l'autorité de décision.

Cependant, il est exceptionnellement prévu de recourir à une pluralité d'experts. C'est en effet encore l'article 159, mais cette fois priant son second alinéa, qui a prévu une dérogation : « Si les circonstances le justifient, il désigne plusieurs experts ». Aucune limitation quant au nombre des experts n'est prévue. Il apparaît ainsi que le magistrat dispose en définitive d'une très grande liberté, qui ne peut être évidemment employée que si elle a pour effet d'améliorer la qualité de l'expertise, sans allonger inutilement la complexité du travail des techniciens, ni les délais d'accomplissement des investigations.

À cet égard, il paraît important de souligner que les experts ont en général tout intérêt à entretenir des contacts réguliers avec les magistrats et les juridictions, afin de permettre à ces derniers de mieux appréhender les spécialités des uns et des autres, et de mieux être à même de désigner les bons experts. Mais il apparaît tout autant nécessaire que lorsqu'un expert est contacté par une juridiction, il n'hésite pas à lui préciser que selon lui, il pourrait être utile d'envisager de lui adjoindre un ou plusieurs autres experts, ayant des compétences dans des domaines qu'il n'a pas, ou qu'il estime insuffisantes.

Enfin, il est utile de préciser que si la personne physique est en principe un expert inscrit au moment de sa désignation sur une liste, il est tout à fait possible de choisir un expert qui, soit était inscrit au moment de sa désignation mais ne l'est plus en cours de mesure, soit encore un expert qui, quoi qu'ayant été inscrit à une époque sur une liste, ne l'est plus, qu'il soit expert honoraire ou non. Cela résulte en effet de la lettre du dernier alinéa de l'article 157 du code de procédure pénale. Mais dans un tel cas, une motivation spéciale est exigée de la juridiction qui décide de désigner un expert en fonction de ses compétences particulières.

2.1.2.2. Personne morale

Dans certains domaines, il n'est pas habituel de recourir une personne morale en qualité d'expert, non pour des raisons de principe, mais simplement à cause de l'organisation de certaines professions. Néanmoins, pour tenir compte de l'évolution de certaines activités, le législateur a expressément prévu à l'article 157 du code de procédure pénale le recours à un expert ayant la forme d'une personne morale.

Dans le domaine de l'expertise de police scientifique, qui a pour originalité de présenter à la fois une organisation administrative prenant la forme de démembrements des services de police, et une forme plus traditionnelle qui voit les expertises confiées à des personnes physiques uniques, il convient d'être particulièrement vigilant en ce qui concerne le respect des prescriptions du code, lorsqu'il y a lieu de confier l'expertise à une personne morale.

Ainsi, l'article 157-1 prévoit-il que si l'expert désigné est une personne morale, son représentant légal soumet à l'agrément de la juridiction le nom de la ou des personnes physiques qui, au sein de celle-ci et en son nom, effectueront l'expertise. Les textes ne prévoient pas sous quelle forme cet agrément est soumis, ni comment il se manifeste de la part de la juridiction, et la chambre criminelle de la Cour de Cassation considère qu'il ne s'agit pas d'une formalité substantielle⁹. De la même manière, aucune précision n'est apportée en ce qui concerne la durée de validité de l'agrément donné à la personne morale, ni même l'autorité dont doit émaner cet agrément. Sur ce dernier point, en toute logique, on peut penser que c'est la juridiction à l'origine de la décision qui devra donner cet agrément, mais on pourrait tout aussi bien imaginer que ledit agrément soit donné pour un certain temps par une assemblée où une autorité représentant l'ensemble des magistrats d'une juridiction, comme l'assemblée générale du tribunal de grande instance, ou celle de la cour

⁸ Pour des exemples de pluralité obligatoire : Op. cit. § 321-01 et 321-14

⁹ Cass. Crim. 13 novembre 1990, pourvoi n° 90-85.438, Bull. n° 378

d'appel. Ne pourrait-on d'ailleurs supposer que la simple inscription d'une personne morale en qualité d'expert sur une liste établie au niveau d'une cour d'appel suffirait pour attester de l'existence de l'agrément ? Sans doute conviendrait-il d'apporter des précisions aux textes en vigueur sur ces questions.

2.1.2.3. Expert sur une liste ou hors liste

Ainsi qu'il a déjà été précisé, les experts sont en principe choisis sur une liste. C'est en effet ce qui résulte de l'article 157 du code de procédure pénale, qui évoque la liste nationale dressée par la Cour de Cassation, où l'une des listes établies par les cours d'appel dans les conditions prévues par la loi du 29 juin 1971 relative aux experts judiciaires.

Exceptionnellement, le recours à un expert ne figurant pas sur une liste est autorisé, toujours en vertu de l'article 157 pris en son second alinéa. Toutefois, cette exception n'est possible que pour les juridictions d'instruction ou de jugement, et ne pourra pas concerner les éventuelles expertises ordonnées par les magistrats du ministère public. Aussi, une juridiction qui souhaite choisir un expert non-inscrit peut le faire, ce qui n'est en soi pas contestable, puisqu'une telle possibilité permet de mieux adapter la mesure à ce qui en est attendu, en recourant le cas échéant à une personne ayant d'excellentes connaissances dans un domaine où, par exemple, aucun expert n'est inscrit sur la liste de telle ou telle cour d'appel, mais elle doit alors le faire par une décision spécialement motivée.

Au demeurant, et en raison du caractère exceptionnel de la dérogation permise, l'absence de motivation du choix d'un expert non inscrit est sévèrement sanctionnée par la Cour de Cassation, qui considère alors que la désignation est nulle¹⁰. Il s'agit en effet de la violation d'une règle substantielle qui entraîne la nullité, même en l'absence de grief pour les parties. Cette sévérité est toutefois tempérée par la faible niveau d'exigence de la chambre criminelle en ce qui concerne la teneur de la motivation que les juges adoptent¹¹.

Seul le domaine des empreintes génétiques exclut le choix d'experts non inscrits, la loi du 29 juillet 1994 relative au respect du corps humain réservant ces mesures à des personnes inscrites sur une liste spéciale, différente de celles prévues habituellement pour les experts judiciaires.

2.1.3. La désignation formelle de l'expert

2.1.3.1. La décision ordonnant l'expertise

En ce qui concerne la forme de la décision par laquelle l'expert est désigné, les textes sont relativement imprécis, ce qui est moins vrai en ce qui concerne le contenu qui doit être celui de la désignation.

Il est cependant acquis de recourir à un support écrit, qu'il s'agisse, selon la juridiction dont émane la décision, d'une ordonnance, d'un jugement, ou encore d'un arrêt.

En vertu de l'article 81 du code de procédure pénale, c'est toujours au moyen d'une ordonnance que le juge d'instruction procédera, soit pour répondre à une demande d'expertise émanant d'une partie, soit lorsqu'il ordonnera lui-même, de sa propre initiative une telle mesure. Particulièrement, en cas de refus de faire une demande d'expertise émanant soit du ministère public, soit des parties, les articles 82, alinéa quatre et 156, alinéa deux lui imposent-ils de motiver spécialement sa réponse. De même, et quoique cela paraisse relever de l'évidence, la décision doit être signée du magistrat, sans quoi elle est inexistante.

Si c'est une juridiction de jugement qui ordonne l'expertise, il appartient alors de le faire dans un jugement ou un arrêt avant dire droit qui n'est pas susceptible d'appel indépendamment de la décision sur le fond.

¹⁰ Cass. crim. 26 novembre 1970, pourvoi n° 70-91.680, Bull. n° 314

¹¹ Cass. Crim. 27 octobre 2004, pourvoi n° 04-85.182, Bull. n° 260

En revanche, lorsque la chambre de l'instruction recourt à un supplément d'information, le magistrat qu'elle désigne pour exécuter cette mesure, et qui choisit de désigner un expert, le fait alors non plus au moyen d'un arrêt, mais d'une ordonnance.

Enfin, si l'expertise est ordonnée par une cour d'assises, soit la cour le fait elle-même au moyen d'un arrêt motivé, qui aura pour conséquence de soumettre la mesure aux dispositions de l'article 156 du code de procédure pénale, soit son président l'ordonne, en vertu de son pouvoir discrétionnaire, sans être soumis à aucune forme particulière, il suffit alors que sa décision soit mentionnée au procès-verbal des débats. Seule cette dernière mesure ne sera pas soumise aux prescriptions de l'article 156 précité.

Si les textes sont imprécis en ce qui concerne la forme que doit revêtir la décision ordonnant l'expertise, le code de procédure pénale est plus explicite en ce qui concerne le contenu qui doit être celui de la décision.

En premier lieu, et sauf évidemment lorsque l'expertise est ordonnée par un juge unique comme le juge d'instruction, toute décision qui ordonne une expertise doit désigner un magistrat chargé d'en contrôler le déroulement. En effet, l'article 156 énonce que les experts procèdent à leur mission sous le contrôle du juge d'instruction ou du magistrat que doit désigner la juridiction ordonnant l'expertise.

Aussi, lorsque c'est une juridiction de jugement ou d'instruction (mais cette fois collégiale) qui ordonne une expertise, elle doit impérativement désigner l'un de ses membres pour en contrôler l'exécution.

Par ailleurs, le nom du ou des experts choisis doit figurer dans la décision, en application de l'article 159 du code de procédure pénale, les magistrats n'ayant pas le droit de délégués le pouvoir de désigner l'expert à un autre magistrat ou à un policier, par exemple par le biais d'une commission rogatoire¹².

En outre, dans l'hypothèse où c'est un expert ne figurant pas sur une liste qui est désigné, la décision doit comporter une motivation spécifique explicitant ce choix. De même, les dispositions du quatrième alinéa de l'article 167 obligent le juge d'instruction qui refuse de faire droit à la demande d'une partie de nommer plusieurs experts, à rendre une ordonnance motivée, ce qui implique que sa décision ne désignant qu'un expert unique s'explique également sur son refus de désigner une pluralité de techniciens

2.1.3.2. Le serment de l'expert

La question du serment¹³, qui est un préalable obligatoire auquel il ne peut être dérogé, se pose différemment selon que l'expert est inscrit ou non sur une liste préalable. Dans le premier cas, le technicien n'aura en effet à prêter serment qu'une fois, au moment de son inscription, selon les modalités de l'article 6 de la loi n° 71-498 du 29 juin 1971 modifiée par la loi n° 2004-130 du 11 février 2004, soit devant la cour d'appel du lieu où il a son domicile. Ce serment sera dès lors valable tant que durera l'inscription, et n'aura pas à être renouvelé à chaque mission. Dans le second cas, si l'expert est désigné en fonction de ses compétences particulières sans être inscrit, il est impératif qu'il prête serment, selon les prescriptions de l'article 160 du code de procédure pénale¹⁴ : avant l'accomplissement de la mission¹⁵, devant le magistrat qui le désigne ou celui délégué par la juridiction, qui en dresse procès-verbal, et exceptionnellement en cas d'empêchement, par écrit.

¹² Cass. Crim. 22 novembre 1956, Bull. n° 769

¹³ Je jure d'apporter mon concours à la justice, d'accomplir ma mission, de faire mon rapport, et de donner mon avis, en mon honneur et ma conscience.

¹⁴ Les experts ne figurant sur aucune des listes mentionnées à l'article 157 prêtent, chaque fois qu'ils sont commis, le serment prévu par la loi n° 71-498 du 29 juin 1971 relative aux experts judiciaires devant le juge d'instruction ou le magistrat désigné par la juridiction. Le procès-verbal de prestation de serment est signé par le magistrat compétent, l'expert et le greffier. En cas d'empêchement dont les motifs doivent être précisés, le serment peut être reçu par écrit et la lettre de serment est annexée au dossier de la procédure.

¹⁵ La chambre criminelle admet cependant que le serment prêté après le début des opérations d'expertise est valable s'il est prêté avant le dépôt du rapport (Cass. Crim. 14 novembre 1991, pourvoi n° 91-84.910, Bull. n° 410), voire après ce dépôt pourvu qu'il n'y ait aucune atteinte aux droits des parties (Cass. Crim. 30 octobre 1990, pourvoi n° 89-84.080).

Lorsqu'une personne morale est concernée, c'est évidemment son représentant légal qui prête serment¹⁶. Il est à noter qu'à la suite d'un revirement récent, la chambre criminelle de la Cour de cassation considère désormais que l'expert honoraire n'est pas délié du serment qu'il avait prêté lorsqu'il était inscrit, de sorte que s'il vient à être désigné une fois atteint l'honorariat, il n'a pas à prêter à nouveau le serment¹⁷.

La formule du serment n'étant pas sacramentelle, aucune nullité ne sera encourue si l'expert n'a pas tout à fait prêté serment selon la formule prévue, mais aura prononcé des paroles s'en rapprochant, qui n'en auront pas dénaturé le sens ni l'esprit¹⁸.

L'importance de la prestation de serment ne doit jamais être négligée, les sanctions d'une omission étant drastiques : l'ensemble des opérations d'expertise est atteint par la nullité. La plus grande vigilance des experts doit donc prévaloir, et en tant que de besoin, il ne faut pas hésiter à se rapprocher du magistrat concerné en cas de doute.

2.1.3.3. La définition de la mission de l'expert

Il convient de rappeler que l'article 158 du code de procédure pénale précise que la décision qui ordonne l'expertise doit en préciser la mission, et que cette mission ne peut avoir pour objet que l'examen de questions d'ordre technique.

Cela étant dit, la question de la définition de la mission est d'une importance capitale car elle conditionne en grande partie la réussite des investigations techniques en orientant le travail de l'expert, et influençant de manière considérable les suites de l'enquête ou de la procédure pénale.

La relative imprécision du code de procédure pénale impose donc à l'autorité de décision de se montrer d'une particulière rigueur dans les termes employés. Il y a par ailleurs lieu de souligner que les experts eux-mêmes doivent non seulement se montrer extrêmement scrupuleux dans l'accomplissement de leur travail, en « collant » littéralement à la mission mais, en amont, ne doivent pas hésiter à prendre l'attache du juge s'ils estiment, à réception de la mission, que celle-ci doit être complétée, par exemple parce que leurs compétences leurs permettent de penser que des investigations plus fines, ou plus approfondies sont possibles, ou encore s'ils pensent que ce qui leur est demandé, soit dépasse leur champ de compétence, soit n'est pas envisageable.

Il n'en demeure pas moins que, sous réserve de quelques restrictions apportées par la jurisprudence, la définition de la mission relève du libre choix du juge, sous la seule réserve de la prise en compte des demandes des parties, issue du nouvel article 161-1¹⁹ du code de procédure pénale qui sera évoquée plus tard (1.2.2). La chambre criminelle de la Cour de cassation estime en effet qu'il n'est pas possible pour les experts d'accomplir les actes d'instruction ou de poursuite, et que leur mission doit donc se limiter à des vérifications matérielles ou à émettre des avis sur les questions qui leurs sont soumises²⁰, ce qui sous-entend encore pour l'autorité de décision, l'impossibilité de déléguer sa mission²¹ :

« Attendu qu'il résulte de l'arrêt attaqué et des pièces de la procédure que, dans le cadre d'une information ouverte le 8 décembre 1998 pour assassinat à la suite de la découverte, quatre jours plus tôt, du cadavre carbonisé dans son véhicule de Francesca X..., le juge d'instruction a ordonné le 21 janvier 1999 une expertise, confiée à un expert inscrit sur la liste de la cour d'appel de Paris, avec une mission ainsi libellée :

¹⁶ Cass. Crim. 13 novembre 1990, pourvoi n° 90-85.438, Bull. n° 378.

¹⁷ Cass. Crim. 20 septembre 2006, pourvoi n° 06-84.741, Bull. n° 232.

¹⁸ Cass. Crim. 10 avril 1975, pourvoi n° 74-92.978, Bull. n° 90.

¹⁹ Inséré par l'article 18 de la loi n° 2007-291 du 5 mars 2007 tendant à renforcer l'équilibre de la procédure pénale, entré en vigueur le 1^{er} juillet 2007.

²⁰ Cass. crim. 16 mars 1964, pourvoi n° 63-91.024, Bull. crim. n° 97.

²¹ Cass. crim. 29 janvier 2003, pourvoi n° 02-86.774, Bull. crim. n° 22.

« Bien vouloir prendre connaissance de l'intégralité de la procédure déjà réalisée et notamment des circonstances du décès de la victime ; au vu de ce dossier, il conviendra dans la mesure du possible de faire une analyse psychocriminologique de la procédure ; d'une manière générale, vous formulerez toutes observations techniques qui vous paraîtront utiles à la manifestation de la vérité en vous conformant aux dispositions des articles 156 et suivants du Code de procédure pénale » ;

Attendu que, dans son rapport, transmis par télécopie le 28 septembre 1999, à 11 heures 30, et déposé officiellement le 6 octobre suivant, qui mentionnait qu'une rencontre avec les enquêteurs avait déjà permis d'éclaircir certains points obscurs du dossier, que de nouveaux documents avaient été adressés fin septembre 1999 et qu'un long échange téléphonique avec la brigade de gendarmerie, enquêtant sur commission rogatoire, avait permis d'affiner la recherche, l'expert a conclu que "au plan psychologique et criminologique, la personnalité de Franck Z..., était totalement compatible avec un passage à l'acte meurtrier, sous le coup d'une frustration (rupture, rejet) avec une préméditation assez courte" ; que ce dernier a été interpellé par les gendarmes le 28 septembre, à 17 heures, placé en garde à vue, entendu à plusieurs reprises jusqu'au 30 septembre puis présenté, à l'issue de ladite garde à vue, au magistrat instructeur qui l'a mis en examen pour assassinat et placé en détention provisoire ;

Attendu que, dans un rapport d'expertise complémentaire déposé le 20 décembre 2000, à la suite de l'arrêt de la chambre de l'instruction du 4 juillet 2000, qui avait relevé que les indications imprécises du rapport initial sur la description des opérations effectuées ne remplissaient pas les conditions exigées par l'article 166 du Code de procédure pénale, l'expert mentionne notamment : « Dans cette collaboration avec un magistrat et des services d'enquête... il appartient à l'expert d'orienter les enquêteurs et de les assister éventuellement dans la préparation psychologique de la garde à vue » ; que, dans un second rapport d'expertise complémentaire, déposé le 8 février 2002, suite à un nouvel arrêt de la chambre de l'instruction du 26 juin 2001 relevant qu'aucune explication n'apparaissait sur la destination et l'objet des communications téléphoniques, en date des 27, 28 et 29 septembre 1999, dont l'expert demandait le remboursement dans son mémoire de frais d'expertise, ce dernier a indiqué que ces appels « avaient été sans doute adressés au magistrat instructeur » et que celui du 29 septembre « avait sans doute eu pour objet de s'enquérir de l'évolution de la garde à vue et de la décision du juge d'instruction » ; que l'expert a ajouté que « si tant bien même l'expert aurait, conformément à sa mission, apporté par téléphone au magistrat ou aux enquêteurs des observations techniques avant ou pendant la garde à vue, en l'occurrence observations de l'ordre de la psychologie ou de la criminologie, il n'aurait fait que répondre à l'attente du magistrat » ;

Attendu que, pour faire droit à la requête en annulation présentée par Franck Z..., prise de l'irrégularité des opérations d'expertise, l'arrêt attaqué relève d'abord que la mission d'expertise confiée par le juge d'instruction, par son imprécision et par l'absence de définition de l'analyse psychocriminologique sollicitée, laquelle ne s'apparente pas à une expertise psychologique, a constitué une délégation générale des pouvoirs du juge d'instruction, l'empêchant, par ailleurs, d'exercer tout contrôle sur les opérations effectuées, ce en violation des articles 156 et 161 du Code de procédure pénale ; que les juges ajoutent qu'il résulte des énonciations des rapports d'expertise, initial et complémentaires, et du rapport de synthèse, établi le 7 octobre 1999 par les gendarmes, que l'expert a pris des contacts répétés et suivis avec les enquêteurs, excédant les termes de sa mission, et sans qu'il résulte de la procédure qu'il ait tenu informé le juge d'instruction de sa participation à l'enquête menée sur commission rogatoire et l'ait mis en mesure d'exercer son contrôle dans les conditions prévues par les articles 156 et 161 du Code de procédure pénale ; que l'arrêt retient enfin que l'expert, dans les conclusions de son rapport déposé le 6 octobre 1999, en identifiant, sans même l'avoir examiné, Franck Z... comme le seul suspect ayant un profil psychologique totalement compatible avec un passage à l'acte meurtrier, a tranché une question de la compétence exclusive du juge ;

Attendu qu'en l'état de ces énonciations et des pièces de la procédure soumises au contrôle de la Cour de Cassation, qui établissent que, sous le couvert d'une mission d'expertise, ordonnée et exécutée en méconnaissance des règles édictées aux articles 156 et suivants du Code de procédure pénale, le juge d'instruction a délégué des pouvoirs relevant de sa seule compétence »,

ou de la part de l'expert lui-même, l'interdiction de réaliser des actes dépassant non seulement les termes de sa mission mais encore pouvant être assimilés à des actes que la loi confie au seul juge²² :

« Attendu que François X..., mis en examen après dépôt du rapport d'expertise, a excipé de la nullité de cet acte, en faisant valoir que, malgré l'interdiction du magistrat instructeur, l'expert avait procédé à plusieurs reprises à l'audition des représentants de la partie civile et de l'expert-comptable de la société ;

Attendu que, pour refuser de faire droit à cette demande, l'arrêt relève que seule la personne entendue par l'expert, en l'espèce la partie civile, pouvait invoquer la violation des dispositions de l'article 164 du Code de procédure pénale, et que la personne mise en examen ne peut prétendre avoir souffert du non-respect d'une règle qui n'avait pas pour objet de le protéger ;

Mais attendu qu'en prononçant ainsi, alors que l'expert, en procédant à des auditions qui n'avaient pas été autorisées par le juge, a outrepassé les limites de sa mission et, ainsi, méconnu une règle touchant à l'organisation judiciaire à laquelle les dispositions de l'article 802 du Code de procédure pénale sont étrangères, la chambre de l'instruction a violé les textes susvisés et le principe ci-dessus énoncé ; D'où il suit que la cassation est encourue ».

Il est encore moins permis que le juge invite l'expert à porter une appréciation d'ordre juridique²³ ou à donner son avis sur la culpabilité²⁴.

2.1.3.4. Le délai imparti à l'expert

Il s'agit du délai dans lequel l'expert doit accomplir sa mission, c'est-à-dire remettre son rapport à l'autorité qui lui a confié une mission d'expertise, ainsi que cela est précisé par l'article 161 du code de procédure pénale.

Néanmoins, s'il est évident qu'il faut tout faire pour respecter le délai imparti, la jurisprudence fait montre d'une certaine souplesse, ce qui est compréhensible dans la mesure où, dans bien des cas, l'expert est tributaire du comportement des parties ou de tiers.

Il s'ensuit que, comme l'illustrent les exemples suivants, c'est seulement en cas d'atteinte aux droits des parties que l'absence d'indication du délai ou son non-respect par l'expert serait sanctionnée²⁵ :

Exemple 1 :

« Attendu que, s'il est exact que les experts médicaux commis le 11 juillet 1977 [...] n'ont pas déposé leurs rapports dans le délai de deux mois qui leur était imparti et ne l'ont fait que le 15 novembre 1977, il ne saurait résulter du seul fait une cause de nullité, cette obligation n'étant pas prescrite à peine de nullité ; qu'en l'espèce, il n'est pas établi que ce retard ait porté atteinte aux droits de la défense »

Exemple 2 (arrêt rendu en 1998²⁶) :

« Attendu que les trois ordonnances de commission d'expert critiquées aux moyens portent que « les experts remettent avant le « Urgent-détenu » un rapport détaillé » ;

Attendu que, pour regrettable que soit une telle manière de procéder, les dispositions de l'article 161 du Code de procédure pénale n'étant pas prescrites à peine de nullité et les demandeurs n'établissant ni même n'alléguant que leur méconnaissance ait eu pour effet de porter atteinte aux droits de la défense, les moyens ne sauraient être admis ».

²² Cass. crim. 17 janvier 2006, pourvoi n° 05-86.326, Bull. crim. n° 19.

²³ Cass. crim. 9 juillet 2003, pourvoi n° 03-81.944, Bull. crim. n° 137.

²⁴ Cass. crim. 26 novembre 2002, pourvoi n° 01-85.138.

²⁵ Cass. crim. 16 octobre 1979, pourvoi n° 79-92.327, Bull. crim. n° 281

²⁶ Cass. crim. 12 juillet 1988, pourvoi n° 88-82.740, non publié, JCP 1989 II 21225

Mais en vertu de la jurisprudence de la Cour européenne des droits de l'homme, il appartient au juge de s'assurer de la bonne exécution de la mission d'expertise, au risque d'engager la responsabilité des autorités judiciaires²⁷.

En définitive, il apparaît que les juridictions disposent d'une grande liberté, d'abord quant à la décision de recourir à une mesure d'expertise, ensuite quant au choix du technicien le mieux à même d'apporter des réponses efficaces à la manifestation de la vérité, enfin quant au contenu de la mission. Cette liberté s'accompagne en outre de règles de procédure certes précises, qu'il faut nécessairement suivre, mais dont la méconnaissance n'a de conséquences sur la procédure que lorsque les droits des parties sont atteints.

2.2. Rôle des parties

Si, au cours de l'histoire²⁸, le législateur avait un temps envisagé de confier un rôle important aux parties, il n'a jamais franchi le pas, par crainte de voir la justice instrumentalisée et considérablement ralentie. Seul le procureur de la République disposait d'un réel pouvoir d'initiative dans le domaine de l'expertise puisque, en application de l'article 82 du code de procédure pénale, dans son réquisitoire introductif, et à toute époque de l'information par réquisitoire supplétif, il s'est vu reconnaître le droit de requérir du magistrat instructeur tous actes lui paraissant utiles à la manifestation de la vérité et toutes mesures de sûreté nécessaires. Ainsi, tant à l'occasion de l'ouverture de l'information judiciaire qu'au cours de celle-ci, il peut demander au juge d'instruction d'ordonner une mesure d'expertise, une contre-expertise ou une nouvelle expertise, en précisant s'il l'estime utile les questions à poser à l'expert.

Les droits offerts aux autres parties ont quant à eux toujours été réduits, même si la partie civile ou la personne mise en examen avaient toujours la possibilité de demander que soit ordonnée une mesure d'expertise, et c'est très récemment²⁹ qu'elles se sont vu reconnaître des droits nouveaux, qui les autorisent à être plus actives soit en ce qui concerne le choix de l'expert, soit la mission d'expertise.

Devant le juge d'instruction comme devant toute juridiction de jugement, l'article 156 du code de procédure pénale autorise les parties à demander une expertise, en précisant si elles le souhaitent les questions qu'elles voudraient voir poser à l'expert.

De la même manière, l'article 161-1 permet maintenant au procureur de la République et aux avocats des parties, auxquels doit être adressée sans délai copie de la décision ordonnant l'expertise, dans les dix jours de demander au juge d'instruction, selon les modalités prévues par l'avant-dernier alinéa de l'article 81, de modifier ou de compléter les questions posées à l'expert ou d'adjointre à l'expert ou aux experts déjà désignés un expert de leur choix figurant sur une des listes mentionnées à l'article 157. Le juge dispose ensuite d'un délai de dix jours à compter de la réception des demandes, pour s'y opposer par une ordonnance motivée qui pourra être déferée, comme l'absence de réponse dans ce délai, au président de la chambre de l'instruction, dans le même délai de dix jours³⁰.

Il appartient ensuite au juge d'instruction de répondre par une ordonnance motivée dans le délai prévu par l'article 156 alinéa deux, soit un mois à compter de la réception de la demande, ce qui est un régime différent de celui réservé aux demandes du ministère public, faute de quoi la partie qui n'aura pas obtenu de réponse dans ce délai aura la faculté de saisir directement le président de la chambre de l'instruction en application

²⁷ CEDH Cretello c France, 23 janvier 2007

²⁸ Pour des informations plus précises sur cet aspect historique : Op. cit. § 311

²⁹ Loi n° 2007-291 du 5 mars 2007 tendant à renforcer l'équilibre de la procédure pénale, entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2007.

³⁰ Ces dispositions ne sont pas applicables lorsque les opérations d'expertise et le dépôt des conclusions par l'expert doivent intervenir en urgence et ne peuvent être différés pendant le délai de dix jours prévu au premier alinéa ou lorsque la communication prévue au premier alinéa risque d'entraver l'accomplissement des investigations, de même qu'aux catégories d'expertises dont les conclusions sont sans incidence sur la détermination de la culpabilité de la personne mise en examen et dont la liste se limite, en vertu de l'article D 37 du code de procédure pénale, « aux expertises médicales dont l'objet est d'apprécier l'importance du dommage subi par la victime » et ne concerne donc pas l'expertise de police scientifique.

de l'article 81 alinéa 10 du code de procédure pénale, ce magistrat devant statuer en application des troisième, quatrième et cinquième alinéas de l'article 186-1, et saisir en tant que de besoin la chambre de l'instruction.

2.3. Rôle de l'expert

2.3.1. *L'éventuelle adaptation des termes de la mission, de son délai et l'assistance apportée à l'expert*

Comme il a déjà été dit, il est essentiel que l'expertise, qu'elle concerne le police scientifique ou un autre domaine, soit considérée tant par les magistrats que par les experts comme une opportunité d'échange, d'abord en amont mais aussi pendant le déroulement de la mesure. Il faut en effet avoir toujours présent à l'esprit que son but est de faciliter la découverte de la vérité et que tout ce qui peut permettre d'en améliorer l'efficacité doit être mis en œuvre.

Il faut donc insister pour que les experts et les magistrats se rencontrent régulièrement, éventuellement lors de réunion de travail mises en place par les compagnies d'expert, pour échanger sur les difficultés rencontrées par les uns et les autres et évoquer les attentes mutuelles. Mais au-delà, il paraît utile que les experts n'hésitent pas à se rapprocher du juge qui les a désignés chaque fois que cela leur paraît devoir être fait.

L'expert ne doit pas voir dans le juge une autorité froide et inaccessible, mais doit au contraire y voir un interlocuteur permanent, qui doit s'assurer certes du contrôle de la mission et de son bon déroulement mais en l'adaptant le cas échéant en fonction des nécessités, celles-ci devant être soulignées par les parties ou l'expert lui-même. L'article 161 du code de procédure pénale autorise d'une certaine manière ces relations, dans la mesure où il précise que les experts doivent remplir leur mission en liaison avec le juge d'instruction ou le magistrat délégué, le tenir au courant du développement de leurs opérations et le mettre à même de prendre à tout moment toutes mesures utiles. Cela permet ainsi de considérer que si l'expert pense qu'il est souhaitable de modifier une mission ou de l'étendre, il ne doit pas hésiter à saisir l'autorité qui l'a désigné. Il n'est pas illogique de voir dans l'expert, qui dispose des compétences techniques requises, un auxiliaire efficace, qui peut être amené à formuler des observations sur la précision ou les difficultés de la mission confiée, de sorte que le juge ou le magistrat du parquet soit en mesure d'adapter les questions.

Dans le même ordre d'idée, dès qu'il reçoit la mission, sauf s'il s'est mis d'accord avec le juge avant la réception formelle de la mission, l'expert qui pense que le délai qui lui est imparti sera trop court, doit sans tarder saisir le magistrat de la difficulté afin que celui-ci modifie la décision à ce sujet.

Il en est de même si l'expert pense nécessaire de recourir à une collégialité plutôt que d'accomplir une mission qui lui apparaît d'emblée trop délicate ou complexe.

2.3.2. *L'acceptation formelle de la mission et les informations données par l'expert : coût de l'expertise, délai de l'expertise, appartenance à une association*

Le code de procédure pénale ne prévoit pas de formalités particulières, tant en ce qui concerne les modalités de saisine de l'expert, qui dans la pratique sera simplement rendu destinataire d'une copie de la décision le nommant, qu'en ce qui concerne la manifestation, par le technicien, du fait qu'il accepte la mission. Il est évidemment souhaitable que l'expert, s'il n'avait pas préalablement été contacté par le magistrat auquel il avait donné son accord de principe, accuse réception de la mission, ce qui peut par la même occasion lui permettre de demander des précisions, voire une modification de ses termes ou du délai d'exécution.

Une formalité importante et essentielle, hélas souvent méconnue dans la réalité, ne doit pas être omise à ce stade : le devis préalable. En effet, l'article R. 107 du code de procédure pénale dispose :

« Lorsque le montant prévu de ses frais et honoraires dépasse 460 euros, l'expert désigné doit, avant de commencer ses travaux, en informer la juridiction qui l'a commis. »

Sauf urgence, cette estimation est communiquée au ministère public qui présente ses observations dans le délai de cinq jours, après avoir fait procéder si nécessaire à des vérifications de toute nature sur les éléments de l'estimation présentée par l'expert.

S'il n'est pas tenu compte de ses observations, le ministère public peut saisir, par l'intermédiaire du procureur général, le président de la chambre de l'instruction, qui statue dans les huit jours par une décision qui ne peut faire l'objet de recours. »

Certes, il peut dans bien des cas être difficile d'estimer précisément le coût final d'une expertise, qui dépend de nombreux facteurs que le technicien ne maîtrise pas toujours tant qu'il n'a pas commencé à élaborer sa méthodologie ou débuté les investigations. Il s'agit cependant d'un moment important, particulièrement depuis l'entrée en vigueur de la LOLF³¹, qui doit permettre à l'autorité de décision non seulement de s'assurer que le coût de la mesure sera le moins élevé possible pour la dépense publique, mais également que le budget de la juridiction permettra de rémunérer l'expert.

Enfin, une nouveauté a été introduite dans le code de procédure pénale par le décret n° 2007-699 du 3 mai 2007, qui impose beaucoup de rigueur tant aux experts qu'aux magistrats et qui vise le cas particulier de l'expert membre d'une association œuvrant dans certains domaines. Ainsi, l'article D. 38 du code de procédure pénale prévoit-il maintenant que « *Lorsque l'expert désigné par le juge d'instruction appartient à une association visée aux articles 2-1 à 2-21 et que l'information porte sur des faits pour lesquels cette association peut se constituer partie civile, il est tenu de déclarer cette appartenance au juge d'instruction dès réception de l'ordonnance de désignation. Si le juge maintient la désignation de l'expert, la déclaration d'appartenance est mentionnée dans le rapport d'expertise.* » Le respect de ces formalités est essentiel pour s'assurer de l'impartialité de l'expert. Et, bien que les conséquences d'une omission n'aient, compte tenu du caractère récent de ces prescriptions, pas fait l'objet de jurisprudence à ce jour, il faut se montrer extrêmement scrupuleux sur le respect de ces dispositions, qui visent sans doute des situations qui pourront peut-être moins concerner des experts commis pour des missions de police scientifique que d'autres, tels les médecins, psychiatres ou psychologues.

En dépit d'améliorations législatives récentes, qui visent à renforcer le caractère contradictoire de l'expertise, cette mesure reste encore essentiellement marquée par la place prépondérante donnée aux juridictions et à l'expert lui-même pour ce qui touche à son organisation initiale.

3. L'accomplissement de sa mission par l'expert

3.1. L'expert et les pièces

3.1.1. L'expert et les pièces de la procédure

Rien ne figure précisément dans le code de procédure pénale à ce sujet, si ce n'est l'article 161 dont le premier alinéa permet de déduire que la communication de documents est possible : « *Ils doivent aussi restituer dans les quarante-huit heures les objets, pièces et documents qui leur auraient été confiés en vue de l'accomplissement de leur mission* ». Cette possibilité est au demeurant logique, tant il tombe sous le sens que l'expert désigné par un magistrat puisse prendre connaissance d'un certain nombre de pièces de la procédure, au moins parce que sa mission s'en trouvera facilitée. Aussi est-il souhaitable que l'expert soit incité à consulter le dossier au greffe, voire qu'il demande à y accéder, en expliquant que cette démarche doit lui permettre de mieux cerner les attentes de la juridiction. De même, il incombe le cas échéant aux magistrats et juridictions d'annexer les pièces utiles à l'expédition de la mission.

³¹ Loi organique relative aux lois de finances

3.1.2. L'expert et les scellés

La procédure pénale impose l'établissement de scellés, en vertu du second alinéa de l'article 97 du code de procédure pénale, selon lequel « *tous les objets, documents ou données informatiques placés sous main de justice sont immédiatement inventoriés et placés sous scellés* ». Pour accomplir sa mission, et c'est particulièrement vrai en ce qui concerne l'expertise de police scientifique, l'expert va devoir se prononcer au vu de l'analyse de certains scellés qui devront alors lui être communiqués au terme d'une procédure spécifique.

Ainsi, l'article 163 du code de procédure pénale impose-t-il qu'avant la transmission des scellés à l'expert, un inventaire en soit dressé par le juge d'instruction ou le juge délégué par la juridiction, inventaire qui prend la forme d'un procès-verbal. C'est encore l'article 97 qui prévoit le respect d'un certain formalisme : l'inventaire doit être réalisé en présence de la personne mise en examen et de son avocat ou ceux-ci dûment convoqués, et en présence de la personne chez laquelle la saisie a été faite. Cette obligation ne vaut cependant que pour les scellés fermés.

L'expert a en outre le droit de procéder à l'ouverture des scellés, sans avoir à convoquer qui que ce soit. Il lui incombe seulement de mentionner l'ouverture et la fermeture dans son rapport et d'en dresser inventaire s'il y a lieu. Ensuite, lorsqu'il a accompli sa mission, le technicien doit reconstituer les scellés, selon les prescriptions de l'article 163, l'article 166 lui imposant de les déposer, ou leurs résidus lorsqu'ils ont été altérés, entre les mains du greffier de la juridiction ayant ordonné l'expertise, lequel en dresse procès-verbal.

Au final, lors de l'accomplissement de sa mission, l'expert voit son action strictement encadrée pour tout ce qui a trait à l'utilisation des scellés, les conséquences résultant d'une méconnaissance des règles prescrites pouvant être particulièrement néfastes à la suite de l'information ou du procès pénal.

3.2. L'expert et les parties

3.2.1. Le principe de la contradiction ³²

En dépit d'une opinion souvent répandue, tant chez les magistrats que chez les experts, le principe de la contradiction ne s'applique pas à la seule expertise ordonnée en matière civile mais aussi, même si les règles en sont différentes, à l'expertise en matière pénale. Ce principe est en effet d'abord affirmé par la Convention européenne de sauvegarde des droits de l'homme et de protection des libertés fondamentales, dont l'article 6 a conduit la juridiction européenne de Strasbourg à rappeler, dans un arrêt Mantovanelli contre France du 18 mars 1997, la nécessité de respecter ce principe en matière d'expertises.

L'article préliminaire du code de procédure pénale, qui reprend l'essence de la Convention quant aux règles du procès équitable, rappelle aussi cette obligation.

Plus récemment, le caractère contradictoire a été réaffirmé par la loi n° 2007-291 du 5 mars 2007. Ainsi, bien que modifié encore plus récemment³³, l'article 161-1 nouvellement inséré dans le code de procédure pénale a-t-il pour objet le renforcement de ce caractère contradictoire de l'expertise.

Ainsi, cet article, qui prévoit qu'une copie de la décision ordonnant une expertise est adressée sans délai au procureur de la République et aux avocats des parties, qui disposent d'un délai de dix jours pour demander au juge d'instruction, selon les modalités prévues par l'avant-dernier alinéa de l'article 81, de modifier ou de compléter les questions posées à l'expert ou d'adjointre à l'expert ou aux experts déjà désignés un expert de leur choix figurant sur une des listes mentionnées à l'article 157, concourt-il à l'évidence à renforcer la contradiction. Il faut ajouter que l'article 161-2 prévoit que, si le délai prévu à l'article 161 excède un an, le juge d'instruction peut demander que soit auparavant déposé un rapport d'étape qui est notifié aux parties

³² Pour une présentation exhaustive : op. cit. § 333.11 et 333.12

³³ Par l'article 134 de la loi n° 2009-526 du 12 mai 2009 de simplification et de clarification du droit et d'allègement des procédures (dénomination manifestement abusive) qui a complété l'article 161-1 par : « *Les parties peuvent déclarer renoncer, en présence de leur avocat ou celui-ci dûment convoqué, à bénéficier des dispositions du présent article* ».

selon les modalités prévues à l'article 167, lesquelles parties peuvent alors adresser en même temps à l'expert et au juge leurs observations en vue du rapport définitif. Ce texte, lui aussi récent, montre également la volonté d'assurer une meilleure efficacité du principe de la contradiction.

L'article 167-2, qui permet dans tous les cas au juge de demander à l'expert de déposer un rapport provisoire avant son rapport définitif, en accordant au ministère public et aux parties un délai fixé par le juge d'instruction qui ne saurait être inférieur à quinze jours ou, s'il s'agit d'une expertise comptable ou financière, à un mois, pour adresser en même temps à l'expert et au juge les observations écrites qu'appelle de leur part ce rapport provisoire, participe lui aussi de la même volonté de mieux asseoir le principe de la contradiction dans le quotidien des procédures, dans la mesure où il est prévu que l'expert ne dépose son rapport définitif au vu de ces observations.

Il faut toutefois relever que la position de la chambre criminelle de la Cour de cassation est assez restrictive quant à la reconnaissance du caractère contradictoire, qu'elle réserve finalement à certaines phases de la procédure comme l'instruction, au cours de laquelle des demandes portant sur l'expertise sont admises, ou encore la phase des débats pendant laquelle elle se satisfait d'une contradiction qui ne ressort que de la discussion des conclusions de l'expert, mais qu'elle exclut lors des opérations d'expertise elles-mêmes. Ainsi, à la différence de l'expertise régentée par les dispositions du code de procédure civile, la haute juridiction considère que le technicien n'a pas à mener ses opérations contradictoirement avec les parties : l'expert médical n'a pas à examiner une victime en présence du prévenu ou du mis en examen³⁴ ni à entendre des personnes en présence des avocats³⁵.

3.2.2. La communication avec les parties

Il n'est pas interdit à l'expert de communiquer avec les parties ou le témoin assisté, à condition que cette opération se fasse par l'intermédiaire du juge, en vertu de l'article 164 du code de procédure pénale. Ainsi, si l'expert veut s'adresser à ces parties, il doit en faire la demande au magistrat qui l'a désigné ou à celui chargé du contrôle de la mesure, qui devra convoquer les intéressés et leurs avocats, soit en présence de l'expert soit en son absence mais en posant les questions transmises par le technicien, le tout en respectant les formes des articles 114 et 119 du code de procédure pénale (délais de convocation, etc.).

Ces règles connaissent néanmoins trois exceptions, qui permettent à l'expert de communiquer directement. Elles résultent du deuxième alinéa de l'article 164, selon lequel « *si le juge d'instruction ou le magistrat désigné par la juridiction les y a autorisés, ils peuvent à cette fin recevoir, avec l'accord des intéressés, les déclarations de la personne mise en examen, du témoin assisté ou de la partie civile nécessaires à l'exécution de leur mission. Ces déclarations sont recueillies en présence de leur avocat ou celui-ci dûment convoqué dans les conditions prévues par le deuxième alinéa de l'article 114, sauf renonciation écrite remise aux experts. Ces déclarations peuvent être également recueillies à l'occasion d'un interrogatoire ou d'une déposition devant le juge d'instruction en présence de l'expert.* »

Une autre exception, assez compréhensible compte tenu de la nature du travail demandé à l'expert, a été prévue par l'article 164 dans son troisième alinéa, qui autorise les médecins ou psychologues experts chargés d'examiner la personne mise en examen, le témoin assisté ou la partie civile à leur poser des questions pour l'accomplissement de leur mission hors la présence du juge et des avocats.

Enfin, une innovation doit être soulignée : depuis le 1^{er} juillet 2007, les parties peuvent prendre l'initiative d'entrer directement en communication avec l'expert, en vertu des nouveaux articles 161-2 et 167-2, soit lorsqu'elles adressent leurs observations après réception du rapport d'étape, soit après dépôt du rapport provisoire.

³⁴ Cass. Crim. 15 février 1967, pourvoi n° 66-92.058, Bull. n° 67

³⁵ Cass. Crim. 13 avril 2005, pourvoi n° 05-80.668, Bull. n° 132

Il apparaît ainsi qu'en dépit d'une idée fautive très répandue, l'expertise pénale doit s'efforcer de respecter autant que possible le principe du contradictoire, en particulier pour ce qui relève de la communication avec les parties.

3.3. L'expert et les tiers

Sous réserve du respect du secret de l'instruction et du secret professionnel, la communication directe de l'expert avec des tiers est expressément autorisée par les dispositions de l'article 164, premier alinéa, sans formalisme spécifique, mais à condition que cela soit fait à titre de renseignement et pour le seul accomplissement de la mission. Dans ce cas, l'expert peut alors recevoir des déclarations.

Il semble exclu que l'expert soit autorisé, par ce biais, à recevoir des documents, ce texte étant à l'évidence limitatif.

Par ailleurs, il convient de souligner que les parties tiennent de l'article 165 du code de procédure pénale la possibilité de demander à l'expert d'effectuer certaines recherches ou d'entendre toute personne nommément désignée qui serait susceptible de leur fournir des renseignements d'ordre technique. Mais cette demande doit être faite auprès de la juridiction qui a ordonné la mesure.

En définitive, le code de procédure pénale mériterait d'apporter des précisions au sujet des possibilités offertes aux experts, dans leurs rapports avec les tiers à l'information judiciaire.

3.4. L'expert, ses assistants, ses adjoints

Longtemps a prévalu la règle de l'accomplissement personnel de sa mission par l'expert, attestée dans le rapport final, et dont la méconnaissance pouvait être la source de difficultés.

Tenant compte de la réalité pratique (bien des expertises résultaient d'un travail collectif) et de la plus grande compétence requise, dans plusieurs domaines simultanés (prenons l'exemple d'un accident d'avion : il faut des compétences multiples pour en déterminer les causes : pilotage, électronique, aérodynamique, physique, mécanique, météorologie, etc.), le législateur a considérablement amoindri le caractère personnel de l'expertise. Il s'ensuit qu'aujourd'hui, depuis sa modification par loi n° 2003-239 du 18 mars 2003 sur la sécurité intérieure, l'article 166 du code de procédure pénale a mis fin à l'obligation qu'avait l'expert d'accomplir seul sa mission, en tous cas de le faire croire.

Désormais, il est en effet précisé que « *les experts signent leur rapport et mentionnent les noms et qualités des personnes qui les ont assistés, sous leur contrôle et leur responsabilité, pour la réalisation des opérations jugées par eux nécessaires à l'exécution de la mission qui leur a été confiée* ». Ainsi est consacrée la possibilité qu'ont les experts de faire procéder, mais toujours sous leur seul contrôle et leur propre responsabilité, à certaines opérations de l'expertise par leurs employés ou d'autres qu'eux, soit pour des raisons tenant à des compétences propres des uns et des autres, soit pour des raisons pratiques. Il est certain que, dans un domaine hautement technique comme celui de l'expertise de police scientifique, une telle mesure facilite l'efficacité des investigations. Encore faut-il que les assistants de l'expert cantonnent leurs interventions au seul domaine pour lequel l'expert est lui-même inscrit sur une liste. C'est du moins ce qui ressort de la lecture comparée des articles 162 et 166, puisque le premier de ces textes vise en revanche l'hypothèse où l'expert doit recourir à un autre expert qui lui est adjoint, par le juge ou la juridiction : « *Si les experts demandent à être éclairés sur une question échappant à leur spécialité, le juge peut les autoriser à s'adjoindre des personnes nommément désignées, spécialement qualifiées par leur compétence* ». Il faut à cet égard préciser que cette demande d'adjonction ne peut être formulée qu'en cours d'expertise, le juge ne pouvant y faire droit par avance, sans quoi cette désignation serait nulle³⁶.

³⁶ Cass. Crim. 26 juillet 1989, pourvoi n° 89-82.795, Bull. n° 297.

Enfin, l'expert initialement désigné doit être vigilant lors de l'établissement de son rapport. En effet, les travaux de ses assistants seront intégrés à son propre rapport, alors que l'adjoint réalisera son propre rapport, qui sera annexé à celui de l'expert principal.

Ainsi, on voit bien que le législateur a su faire preuve du sens des réalités en permettant aux experts de recourir officiellement à des aides ou assistants, comme à des professionnels avertis, afin que la mission d'expertise soit la plus efficace possible.

3.5. Les difficultés rencontrées par l'expert

La mesure d'expertise s'exerce sous le contrôle du juge qui l'a ordonnée ou de celui qui a été délégué par la juridiction, de sorte qu'en cas de difficultés, c'est avant tout vers lui que l'expert devra se tourner pour connaître la marche à suivre : obtenir les documents ou pièces utiles, par exemple, régler des difficultés d'ordre procédural, faire entendre une personne, etc.

De manière générale, comme cela a déjà dit auparavant, les experts ne doivent pas hésiter à se rapprocher des magistrats, avec lesquels ils doivent essayer d'entretenir autant que possible des relations habituelles, dans le but évident d'améliorer toujours l'efficacité de l'œuvre de justice. Il est cependant des situations plus difficiles à résoudre que d'autres, comme lorsque le technicien se voit opposer le secret professionnel.

Comment l'expert doit-il réagir dans une telle situation ? Il faut malheureusement reconnaître que les textes sont d'un secours relatif³⁷. La jurisprudence de la chambre criminelle de la Cour de Cassation paraît quant à elle bien hésitante. Aussi, lorsque l'expert se voit opposer le secret professionnel par une personne qui y est effectivement tenue, il lui revient de solliciter du juge mandant qu'il entende ladite personne, en qualité de témoin, en se faisant éventuellement assister de l'expert, voire qu'il procède, en vertu des pouvoirs qu'il tient de l'article 97 du code de procédure pénale, à la saisie de pièces ou documents nécessaires à l'expert.

Sans doute serait-il à bien des égards souhaitable que le législateur envisage d'apporter à ces difficultés les réponses adaptées, afin de ne pas paralyser le cours des informations judiciaires qui peuvent perdre de leur efficacité lorsque l'expert se heurte à l'inertie ou la mauvaise foi de personnes physiques ou morales, ou tout simplement à des obstacles juridiques valables.

3.6. Le rapport d'expertise

Si l'accomplissement des mesures techniques est bien évidemment crucial, c'est par la rédaction et la remise du rapport, qui sera ensuite apprécié par le juge ou la juridiction et discuté contradictoirement par les parties en tant qu'élément de preuve parmi d'autres, que le travail de l'expert va trouver son aboutissement concret. Il est donc essentiel d'y attacher la plus grande importance et de la rédiger avec une extrême rigueur.

3.6.1. Rédaction, forme et contenu du rapport

Le rapport est expressément prévu non seulement quant à son existence, mais aussi sa forme écrite, par l'article 166 du code de procédure pénale, qui énonce que « lorsque les opérations d'expertise sont terminées, les experts rédigent un rapport ». Il ne peut donc s'agir que d'un rapport écrit, sauf devant la cour d'assises où l'expert désigné par le président de cette juridiction en vertu de son pouvoir discrétionnaire, où le rapport peut être seulement oral (mais s'il est écrit, l'expert doit le communiquer aux parties et au ministère public, en application de l'article 284 du code de procédure pénale, si la mesure a été ordonnée avant l'ouverture des débats).

³⁷ Sur ce point : op. cit. 333.34 et 333.35

Outre sa forme en principe écrite, le rapport doit être déposé par l'expert dans le délai prévu par la décision l'ayant désigné, comme en dispose l'article 161 du code de procédure pénale, dans son premier alinéa³⁸. Ce délai ne peut en principe être dépassé, le technicien risquant alors d'être sanctionné, ce qui est logique puisque le juge peut proroger le délai, l'article 161 le prévoyant expressément, à condition cependant que des raisons particulières l'exigent et que le juge rende une décision motivée.

C'est au demeurant un rapport unique qui doit être rédigé par l'expert, en vertu du principe énoncé par l'article 166 du code de procédure pénale, bien que des atténuations soient prévues. Ainsi, quel que soit le nombre d'experts désignés par la juridiction, c'est toujours en principe un rapport unique qui doit être remis, le cas échéant rédigé et approuvé par le collège désigné. Dans l'hypothèse où les experts ne se mettent pas d'accord sur les conclusions du rapport, ou s'ils ont des réserves à formuler, le deuxième alinéa de ce texte précise que chacun indique son opinion ou ses réserves en les motivant. Mais celles-ci ne peuvent être séparées du rapport final dans lequel elles doivent être intégrées. Enfin, comme il a déjà été précisé plus avant, les experts qui auraient été adjoints au premier expert désigné doivent quant à eux rédiger un rapport séparé.

A ce stade, il y a lieu de détailler quelques innovations récentes, nées de la loi n° 2007-291 du 5 mars 2007 tendant à renforcer l'équilibre de la procédure pénale, entrées en vigueur depuis le 1^{er} juillet de la même année, mais qui n'ont pas encore donné lieu à interprétation jurisprudentielle : le rapport d'étape et le rapport provisoire.

En effet, selon l'article 161-2, si le délai prévu à l'article 161 excède un an, le juge d'instruction peut demander que soit auparavant déposé un rapport d'étape qui est notifié aux parties selon les modalités prévues à l'article 167. En outre, l'article 167-2 a quant à lui créé un autre type de document : le rapport provisoire. Ce texte prévoit dorénavant que le juge d'instruction peut demander à l'expert de déposer un rapport provisoire avant son rapport définitif, ce qui va permettre au ministère public et aux parties de disposer d'un délai fixé par le juge d'instruction, pour adresser en même temps à l'expert et au juge les observations écrites qu'appelle de leur part ce rapport provisoire. C'est ensuite au vu de ces observations que l'expert déposera son rapport définitif, sauf en l'absence d'observation, le rapport provisoire étant alors considéré comme le rapport définitif. En conséquence, lorsque les experts n'ont pas été invités à remettre un rapport d'étape ou un rapport provisoire, il leur incombe de rédiger un rapport unique dès leurs opérations terminées.

Si le rapport est nécessaire, pour autant, les textes sont relativement taisants quant à son contenu. Seuls quelques articles permettent en effet de lister les éléments qui doivent y figurer. Il s'agit des articles 162, 163, 166 et 167-2, mais qui concernent en définitive les mentions obligatoires, dont la présence est destinée à s'assurer que la mission a été conduite conformément à la loi.

Tout d'abord, l'article 166 précise que, « lorsque les opérations d'expertise sont terminées, les experts rédigent un rapport qui doit contenir la description desdites opérations ainsi que leurs conclusions » « les experts signent leur rapport et mentionnent les noms et qualités des personnes qui les ont assistés, sous leur contrôle et leur responsabilité, pour la réalisation des opérations jugées par eux nécessaires à l'exécution de la mission qui leur a été confiée ». A celles-ci s'ajoutent en tant que de besoin celles qui résultent de l'article 163, imposées dans l'hypothèse où l'expert a du ouvrir les scellés, puis les annexes imposées par l'article 162 et constituées du ou des rapports établis par les experts adjoints par le juge aux experts initiaux et devant être intégrés au rapport, enfin la renonciation écrite prévue à l'article 164 alinéa 3, par le biais de laquelle la personne mise en examen, le témoin assisté ou la partie civile a accepté d'être entendu par l'expert sans son avocat.

Dans le domaine de l'expertise de police scientifique, il apparaît nécessaire que les experts fassent montre de la plus grande exhaustivité dans leurs conclusions. Si les textes n'indiquent pas ce qu'ils doivent présenter, il semble en effet indispensable que le rapport soit le moins attaquable par les parties, si bien qu'il faut absolument que la rigueur scientifique qui est la marque de fabrique du technicien y soit présente. Ainsi, il est souhaitable que les experts précisent non seulement dans le détail leur raisonnement, mais encore présente en tant que de besoin leur méthodologie et éventuellement les sources techniques ou scientifiques sur

³⁸ « Toute décision commettant des experts doit leur impartir un délai pour remplir leur mission. »

lesquels ils se sont appuyés. De même, ils ne doivent jamais hésiter à présenter des schémas de principe voire des schémas d'espèce, dans le but de permettre une meilleure compréhension du rapport. En ayant présent à l'esprit que leur travail sera entre les mains de novices, les experts, sans renoncer à l'emploi de termes scientifiques ou techniques qu'il est difficile d'écarter, rendront leur travail plus accessible s'ils y ajoutent des explications destinées aux profanes, en langage courant, par exemple.

La présence de la signature des experts sur le rapport est nécessaire. La chambre criminelle a en effet eu l'occasion d'affirmer son caractère substantiel, rappelant qu'il ne peut y être dérogé par le recours à l'article 802 du code de procédure pénale : « Attendu que, selon l'article 166 du Code de procédure pénale, dans sa rédaction antérieure à la loi du 30 décembre 1985, lorsque les opérations d'expertise sont terminées, les experts rédigent un rapport qui doit contenir la description desdites opérations, ainsi que leurs conclusions ; qu'ils doivent attester avoir personnellement accompli les opérations qui leur ont été confiées, et signer leur rapport ; que cette formalité est substantielle³⁹ ».

Il est enfin indispensable que l'expert réponde, par son rapport, à la mission qui lui a été donnée, c'est-à-dire aux questions posées, donnant ainsi son avis de façon argumentée, en respectant certains principes tels que l'impartialité, l'absence d'avis juridique ou l'interdiction de donner sa propre opinion sur la culpabilité, ce dernier point n'empêchant toutefois pas l'expert d'émettre des hypothèses sur la culpabilité de la personne mise en examen ou concernée par les opérations d'expertise, s'il n'affirme pas cette culpabilité en tant que telle mais est obligé, par les termes de sa mission, de l'envisager.

3.6.2. Communication du rapport

Le rapport d'expertise doit d'abord être communiqué à l'autorité de décision et aux enquêteurs, ce qui se matérialise par son dépôt au greffe de la juridiction qui en est à l'origine, l'article 166 prévoyant dans son troisième alinéa qu'il est remis accompagné des scellés et des résidus lorsqu'ils ont été altérés. Le greffier établit ensuite un procès-verbal qui constate cette remise. En tant que de besoin, si le juge a donné son accord, les experts ont aussi la possibilité de communiquer également leurs conclusions aux enquêteurs, à condition qu'ils soient en charge d'une commission rogatoire dans la même affaire (article 166, alinéa 4), ainsi qu'au procureur de la République et aux avocats des parties.

Le rapport peut ensuite faire l'objet d'une communication aux parties et au témoin assisté, mais seulement en vertu d'une intervention du juge d'instruction ou du juge délégué. Le premier alinéa de l'article 167 du code de procédure pénale énonce en effet que « le juge d'instruction donne connaissance des conclusions des experts ». Cette formulation dénuée d'ambiguïté permet de déduire que l'expert ne peut pas lui-même donner connaissance aux parties de ses conclusions, et que c'est toujours le magistrat instructeur à qui il incombe d'effectuer cette information, le juge délégué par la juridiction de jugement n'étant en revanche pas concerné par cette obligation, dans la mesure où les renvois opérés par les articles relatifs à la procédure devant ces juridictions ne visent pas l'article 167. Il est au demeurant possible de déléguer cette transmission d'information par commission rogatoire, en application de l'article 151 du code de procédure pénale, du moins si cette pratique n'aboutit pas à priver une partie de ses droits.

Il convient encore de souligner que les formes de la transmission des conclusions de l'expert sont laissées au choix du magistrat, selon les termes des articles 167 et 803-1 du code de procédure pénale :

Article 167 :

« Le juge d'instruction donne connaissance des conclusions des experts aux parties et à leurs avocats après les avoir convoqués conformément aux dispositions du deuxième alinéa de l'article 114. Il leur donne également connaissance, s'il y a lieu, des conclusions des rapports des personnes requises en application des articles 60 et 77-1, lorsqu'il n'a pas été fait application des dispositions du quatrième alinéa de l'article 60. Une copie de l'intégralité du rapport est alors remise, à leur demande, aux avocats des parties. Les conclusions peuvent également être notifiées par lettre recommandée ou, lorsque la personne est détenue, par

³⁹ Cass. Crim. 19 janvier 1988, pourvoi n° 87-90.578, Bull. n° 25.

les soins du chef de l'établissement pénitentiaire qui adresse, sans délai, au juge d'instruction l'original ou la copie du récépissé signé par l'intéressé. L'intégralité du rapport peut aussi être notifiée, à leur demande, aux avocats des parties par lettre recommandée. Si les avocats des parties ont fait connaître au juge d'instruction qu'ils disposent d'une adresse électronique, l'intégralité du rapport peut leur être adressée par cette voie, selon les modalités prévues par l'article 803-1.

Dans tous les cas, le juge d'instruction fixe un délai aux parties pour présenter des observations ou formuler une demande, notamment aux fins de complément d'expertise ou de contre-expertise. Cette demande doit être formée conformément aux dispositions du dixième alinéa de l'article 81. Pendant ce délai, le dossier de la procédure est mis à la disposition des conseils des parties. Le délai fixé par le juge d'instruction, qui tient compte de la complexité de l'expertise, ne saurait être inférieur à quinze jours ou, s'il s'agit d'une expertise comptable ou financière, à un mois. Passé ce délai, il ne peut plus être formulé de demande de contre-expertise, de complément d'expertise ou de nouvelle expertise portant sur le même objet, y compris sur le fondement de l'article 82-1, sous réserve de la survenance d'un élément nouveau. [...]

Le juge d'instruction peut également notifier au témoin assisté, selon les modalités prévues par le présent article, les conclusions des expertises qui le concernent en lui fixant un délai pour présenter une demande de complément d'expertise ou de contre-expertise. Le juge n'est toutefois pas tenu de rendre une ordonnance motivée s'il estime que la demande n'est pas justifiée, sauf si le témoin assisté demande à être mis en examen en application de l'article 113-6.».

Article 803-1 :

«Dans les cas où, en vertu des dispositions du présent code, il est prévu de procéder aux notifications à un avocat par lettre recommandée ou par lettre recommandée avec demande d'avis de réception, la notification peut aussi être faite sous la forme d'une télécopie avec récépissé ou par un envoi adressé par un moyen de télécommunication à l'adresse électronique de l'avocat et dont il est conservé une trace écrite.»

Devant les juridictions de jugement, ces règles ne s'appliquent pas et les textes ne déterminent pas les modalités de communication du rapport de l'expertise ordonnée par une juridiction de jugement, à l'exception de l'article 279 du code de procédure pénale relatif à la cour d'assises, qui prévoit que devant cette juridiction, il « est délivré gratuitement à chacun des accusés et parties civiles copie des procès-verbaux constatant l'infraction, des déclarations écrites des témoins et des rapports d'expertise », si bien que le rapport peut être remis à toutes les parties directement. Il peut aussi être recouru aux dispositions de l'article R. 155 du code de procédure pénale puisque, en matière criminelle, correctionnelle et de police, hors les cas prévus par l'article 114, il peut être délivré aux parties, avec l'autorisation du procureur de la République ou du procureur général selon le cas, expédition de toutes les pièces de la procédure autres que la plainte ou la dénonciation des ordonnances définitives, des arrêts, des jugements, des ordonnances pénales et des titres exécutoires prévus à l'article 529-2, alinéa 2, du code de procédure pénale, notamment, en ce qui concerne les pièces d'une enquête terminée par une décision de classement sans suite, cette autorisation n'étant toutefois pas requise lorsque des poursuites ont été engagées et que la copie est demandée pour l'exercice des droits de la défense ou des droits de la partie civile.

3.6.3. Suites du rapport

3.6.3.1. L'utilisation du rapport

L'article 427 du code de procédure pénale pose un principe essentiel de la procédure pénale : la preuve y est libre (exception faite des contraventions et d'un nombre réduit d'infractions). Il s'ensuit que le travail de l'expert sera considéré comme un élément de preuve, au même titre qu'un autre. Il sera à cet égard soumis à la discussion contradictoire des parties et le juge y verra un simple avis et rien d'autre, avis dont il tiendra compte ou pas.

Au surplus, dans certaines circonstances, un rapport d'expertise établi dans une procédure pourra être utilisé dans une autre. L'article 114 du code de procédure pénale a ainsi prévu la possibilité, dans son sixième alinéa, que des copies des rapports d'expertise puissent être communiquées par les parties ou leurs avocats

à des tiers pour les besoins de la défense. Il est encore très fréquent que tant le ministère public que les juridictions ou les parties elles-mêmes versent un rapport dans les pièces d'une autre affaire, soit pour éclairer les débats soit pour se défendre, toujours en vertu de la liberté de la preuve. La chambre criminelle de la Cour de cassation a du reste validé cette situation, dans un arrêt du 23 novembre 1999⁴⁰ :

« Attendu que pour rejeter la demande tendant à voir écarter ces pièces des débats, les juges d'appel énoncent que le secret de l'instruction ne peut plus être invoqué après que les pièces tirées du dossier aient été produites lors de l'audience publique de jugement qui a suivi le renvoi de l'affaire devant le tribunal correctionnel ; qu'ils ajoutent qu'il a été débattu contradictoirement devant eux du contenu et de la portée des pièces litigieuses ;

Attendu qu'en statuant ainsi, la cour d'appel a justifié sa décision ; que le moyen doit, dès lors, être écarté ».

Enfin, il est encore loisible au procureur de la République de transmettre le rapport d'expertise à une administration⁴¹.

3.6.3.2. L'audition de l'expert

L'expert peut être entendu soit pendant la phase d'instruction, soit pendant la phase de jugement et, dans certains cas, son audition est obligatoire.

Devant les juridictions d'instruction, rien ne s'oppose à ce que l'expert soit entendu comme témoin par le magistrat instructeur, en vertu de l'article 101 du code de procédure pénale, puisque ce texte lui permet d'entendre toutes personnes dont la désignation lui paraît utile. Cela peut se produire par exemple avant le dépôt du rapport ou même après et l'expert n'a pas à renouveler son serment. En revanche, l'audition des experts est obligatoire devant la chambre de l'instruction en cas d'ordonnance de non-lieu pour irresponsabilité, en application de l'article 706-122 du code de procédure pénale, issu de la loi n° 2008-174 du 25 février 2008 relative à la rétention de sûreté et à la déclaration d'irresponsabilité pénale pour cause de trouble mental (cette obligation était auparavant imposée par l'article 199-1 abrogé par cette dernière loi).

Devant les juridictions de jugement, c'est l'article 168 du code de procédure pénale qui permet cette audition et en détermine les modalités, étant précisé que cette audition n'a aucun caractère obligatoire :

« Les experts exposent à l'audience, s'il y a lieu, le résultat des opérations techniques auxquelles ils ont procédé, après avoir prêté serment d'apporter leur concours à la justice en leur honneur et en leur conscience. Au cours de leur audition, ils peuvent consulter leur rapport et ses annexes.

Le président peut soit d'office, soit à la demande du ministère public, des parties ou de leurs conseils, leur poser toutes questions rentrant dans le cadre de la mission qui leur a été confiée. Le ministère public et les avocats des parties peuvent également poser directement des questions aux experts selon les modalités prévues par les articles 312 et 442-1.

Après leur exposé, les experts assistent aux débats, à moins que le président ne les autorise à se retirer.»

Il en résulte que, hormis devant la cour d'assises lorsqu'il a été commis par son président en vertu de son pouvoir discrétionnaire, l'expert n'est jamais entendu à titre de simples renseignements.

Au demeurant, la contestation du travail de l'expert est expressément prévue à l'article 169 : « Si, à l'audience d'une juridiction de jugement, une personne entendue comme témoin ou à titre de renseignement contredit les conclusions d'une expertise ou apporte au point de vue technique des indications nouvelles, le président demande aux experts, au ministère public, à la défense et, s'il y a lieu, à la partie civile, de présenter leurs observations. Cette juridiction, par décision motivée, déclare, soit qu'il sera passé outre aux débats, soit que l'affaire sera renvoyée à une date ultérieure. Dans ce dernier cas, cette juridiction peut prescrire quant à l'expertise toute mesure qu'elle jugera utile. »

⁴⁰ Arrêt non publié, pourvoi n° 98-87.458

⁴¹ Cass. Crim. 26 mai 2004, pourvoi n° 03-82.277, non publié.

4. Conclusion

En conclusion, on voit très clairement que le rapport est l'objectif vers lequel doivent tendre toutes les opérations de l'expertise, et dont il est la traduction. Son existence et son contenu permettent ainsi aux juridictions d'instruction ou de jugement, comme au ministère public et aux parties intéressées d'apprécier aussi objectivement que possible les aspects scientifiques s'attachant aux faits. Expression de la pensée du ou des experts, il se doit d'être inattaquable et, en raison de son importance, il doit en être le reflet fidèle et impartial.

Chapitre 2. Gestion de scène de crime

Y. Schuliar, J. Hébrard

1. Introduction

Traiter de la scène de crime et de sa gestion, c'est aborder la criminalistique dans son ensemble. Il s'agit de la recherche et de l'exploitation des indices en vue de la manifestation de la vérité. Cela fait donc appel à de nombreuses techniques et disciplines scientifiques et à de nombreux acteurs spécialisés. Jusque dans les années 80, on faisait une distinction entre police technique et police scientifique et donc d'une part, entre les opérations techniques réalisées sur la scène de crime (recherche, préservation et prélèvements des indices), et d'autre part, les analyses menées en laboratoire consistant en l'exploitation des indices.

Si l'on compare la France et la Grande-Bretagne à cette période, un certain nombre d'évolutions se dessinent. En Grande-Bretagne, où la criminalistique est déjà bien développée, des échecs judiciaires mettent cependant en lumière dans certaines affaires l'absence de relevé de traces matérielles et l'utilisation exclusive de témoignages et d'aveux ou bien dans d'autres cas, l'utilisation de traces, non pas pendant la phase d'investigation mais a posteriori pour démontrer des faits.

L'affaire de l'éventreur du Yorkshire en est un exemple. Entre 1977 et 1982, il tue 13 femmes et en agresse beaucoup d'autres. Il est finalement arrêté par hasard et par chance¹. L'examen rétrospectif des cas montre que, la réalisation d'investigations scientifiques avec coordination et intégration des résultats dans l'enquête, auraient résolu plus précocement l'affaire.

En découlent un certain nombre de recommandations pour la gestion des affaires complexes. L'ACPO (association of chief police officer) publie des manuels relatifs à la gestion des scènes de crimes complexes. L'un d'eux, le MIRSAP (major investigation incident room standardized administrative procedures) souligne le rôle du « scientific support coordinator » (coordinateur scientifique) et du « crime scene manager » (gestionnaire de scène de crime). Est également créé le système informatisé d'aide à l'enquête appelé HOLMES.

La France, quant à elle, vit avec beaucoup d'émotion les difficultés de plusieurs enquêtes et investigations policières dont l'affaire Gregory. Dans cette affaire, on assiste à un véritable échec dans l'établissement de la preuve par les indices en raison de l'absence de constatations scientifiques de qualité. La faiblesse des moyens techniques est évidente. La modernisation de la police technique et scientifique est décidée sous Pierre Joxe, ministre de l'intérieur, en 1985. On voit apparaître les techniciens de scène de crime dans la Police Nationale et les techniciens en identification criminelle dans la Gendarmerie Nationale. Les laboratoires de police scientifique sont modernisés et la Gendarmerie Nationale crée l'Institut de recherche criminelle à vocation nationale.

Force est de constater, et c'est une tendance qui concerne l'ensemble des pays modernes, que la preuve scientifique et l'utilisation de techniques de plus en plus sensibles dans le traitement des indices fragiles prennent une place sans cesse croissante dans les investigations criminelles. Il est certain que la médiatisation de nombreuses affaires judiciaires et l'accès aux empreintes génétiques ont été un élément moteur de cette évolution.

¹ Il fut arrêté le 2 janvier 1981 à Sheffield par la police lors d'une ronde de nuits dans un quartier de prostituées en raison du caractère suspect des plaques d'immatriculation de son automobile qu'il avoua avoir volées. Le lien avec les meurtres fut définitivement résolu 4 mois plus tard.

Les scientifiques se trouvent de plus en plus sollicités sur la scène de crime. La preuve scientifique est souvent mise au premier plan devant l'aveu ou le témoignage et elle est discutée par les parties. Parallèlement, le concept d'assurance qualité qui se développe dans les laboratoires de police technique et scientifique, concerne aussi la scène de crime et sa gestion.

La scène de crime est au centre de la criminalistique. C'est un enjeu majeur pour l'enquête judiciaire. L'évolution de sa gestion a été déterminante ces dernières années mais elle est loin d'être achevée et les concepts ne sont pas encore clairement définis et/ou utilisés par les différents acteurs. L'exploitation de la scène de crime, point clé d'une affaire, reste encore dans certains cas un maillon faible dans l'enquête. Bischoff en 1938 déclarait : « Les premières constatations faites dans n'importe quel crime ou délit sont la pierre angulaire de tout procès ».

Une enquête judiciaire comporte deux aspects, l'enquête traditionnelle et l'enquête technique. Cette dernière nécessite de déterminer, gérer et évaluer les moyens et les personnes à mettre en œuvre au plus proche de l'enquête et dans la durée. La notion de coordination va s'avérer primordiale pour gérer la scène de crime.

2. Considérations générales

2.1. Définition

Il n'existe pas véritablement de définition de la scène de crime. Ainsi, on parle de « l'ensemble des lieux et des personnes, liés à un crime ou un délit, justifiant l'intervention des services de police ou de gendarmerie », de « toute scène d'action ou d'activité pouvant posséder une nature criminelle », ce qui permet d'inclure une découverte de cadavre même sans circonstance suspecte ou de « tout lieu ayant un potentiel de révélation d'indices de commission d'une atteinte à la loi pénale ».

Ces notions sont très larges et une scène de crime peut donc comporter plusieurs lieux : le corps du délit proprement dit, le lieu de sa découverte, le lieu de sa provenance, le lieu de découverte des indices, un véhicule ayant servi au transport d'un cadavre, les voies d'accès et de fuite, le domicile d'un suspect, le domicile de la victime.

L'exploitation de la scène ne se limite pas à la découverte et à la récupération des indices. Une scène de crime, c'est bien évidemment une ambiance particulière et l'enquêteur, d'autant plus qu'il a de l'expérience, met tous ses sens en éveil pour alimenter son raisonnement.

2.2. Aspects juridiques

La protection de la scène de crime est mentionnée dans les articles 55 du CPP et 434-4 du CP. L'article 54 du CPP concerne le procès-verbal de transport, les constatations et les mesures prises. Les pouvoirs de saisie et les réserves liées au secret de l'enquête, au lieu des constatations sont précisés dans le code pénal. En tout état de cause, la preuve appartient au juge (l'intime conviction).

Certains aspects juridiques ont un impact direct sur la gestion de la scène de crime :

Intégrité de la scène de crime

L'article 55 du CPP stipule que :

« Dans les lieux où un crime a été commis, il est interdit, sous peine de l'amende prévue pour les contraventions de 4ème classe à toute personne non habilitée, de modifier l'état des lieux avant les premières opérations de l'enquête judiciaire et d'y effectuer des prélèvements quelconques. Toutefois, exception est faite lorsque ces modifications ou ces prélèvements sont commandés par les exigences de la sécurité ou de la salubrité publique ou par les soins à donner aux victimes » car en effet par exemple.

L'Art 223-6 du Code pénal souligne que :

« Sera puni de cinq ans d'emprisonnement et de 75 000 € d'amende..., quiconque s'abstient volontairement de porter à une personne en péril l'assistance que, sans risque pour lui ou pour les tiers, il pouvait lui prêter soit par son action personnelle, soit en provoquant un secours ».

Mobilisation des acteurs de la scène de crime

Art 54 du CPP : mesures conservatoires immédiates

Cet article définit les règles du transport de l'OPJ, les mesures conservatoires immédiates ainsi que la coercition sur les biens.

« En cas de crime flagrant, l'officier de police judiciaire qui en est avisé, informe immédiatement le procureur de la République, se transporte sans délai sur le lieu du crime et procède à toutes constatations utiles. Il veille à la conservation des indices susceptibles de disparaître et de tout ce qui peut servir à la manifestation de la vérité. Il saisit les armes et les instruments qui ont servi à commettre le crime ou qui étaient destinés à le commettre, ainsi que tout ce qui paraît avoir été le produit de ce crime. Il présente les objets saisis, pour reconnaissance, aux personnes qui paraissent avoir participé au crime, si elles sont présentes ».

Art 61 du CPP : coercition sur les personnes

« L'officier de police judiciaire peut défendre à toute personne de s'éloigner du lieu de l'infraction jusqu'à la clôture de ses opérations ».

Les actes techniques

Art 60 et 77-1 du CPP (74 et 81) : réquisition à personnes qualifiées

« S'il y a lieu de procéder à des constatations ou à des examens techniques ou scientifiques, l'officier de police judiciaire a recours à toutes personnes qualifiées ».

Art 54 du CPP : prélèvements

Des prélèvements peuvent être réalisés sur une scène de crime. L'Art. 54 du CPP précise : « ...il (l'OPJ) saisit les armes et instruments qui ont servi à commettre le crime..., ainsi que tout ce qui paraît avoir été le produit de ce crime ».

Art. 97, alinea 2 du CPP et Art. 56, alinea 3 du CPP : scellés

« Tous les objets et documents placés sous main de justice sont immédiatement inventoriés et placés sous scellés ».

2.3. Objectifs de la gestion de la scène de crime

La scène de crime doit permettre de prouver :

- qu'un crime a été commis ;
- d'établir des éléments du crime ;
- de démontrer le contact d'un suspect avec la scène de crime ;
- d'établir l'identité des personnes associées au crime ;
- d'innocenter une personne ;
- de corroborer un témoignage ;
- enfin, de confondre un suspect, voire d'initier des aveux.

Les traces et indices découverts sur la scène de crime vont permettre :

- au magistrat, d'affirmer l'existence d'un crime et d'établir les circonstances de sa commission ;
- au criminaliste, de faire le lien entre la victime et le lieu, l'auteur et le lieu, l'auteur et la victime.

Le criminaliste donnera, validera ou modifiera les hypothèses de travail du directeur d'enquête lui permettant de faire l'analyse fonctionnelle des événements et au final de transformer l'indice en preuve irréfutable.

3. Les moyens de la Police et de la Gendarmerie

3.1. La police technique et scientifique en gendarmerie (PTS)

La coordination au plan central et le suivi de la Police technique et scientifique sont assurés, pour la direction générale de la gendarmerie, par la section criminalistique et documentation judiciaire du bureau de la police judiciaire de la sous-direction de la police judiciaire.

La gendarmerie a fait le choix d'un déploiement rationalisé et intégré des moyens sur trois niveaux : élémentaire, départemental et national (*figure 1*).

3.1.1. Niveau élémentaire

Le niveau élémentaire est représenté par les brigades territoriales autonomes, les communautés de brigades et les brigades de recherches.

Ces unités, dans lesquelles tous les militaires reçoivent une formation élémentaire, ont pour mission de garantir l'intégrité des scènes de crime jusqu'à l'intervention des techniciens en investigations criminelles ; de procéder aux actes de signalisations et de police technique et scientifique de proximité (relevé d'empreintes digitales, prélèvements biologiques...) au moyen de différentes mallettes de PTS conçues pour lesdits actes.

3.1.2. Niveau départemental

Le niveau départemental correspond aux brigades départementales de renseignements et d'investigations judiciaires (BDRIJ). Ces brigades regroupent en une plate-forme départementale, un ensemble de spécialistes appelés à intervenir au profit de toutes les unités d'un même département. Il s'agit d'enquêteurs qualifiés dans différents domaines criminalistiques : techniciens en investigations criminelles (TIC), analystes criminels (ANACRIM), spécialistes en matière de criminalité informatique (N-Tech), portraitistes.

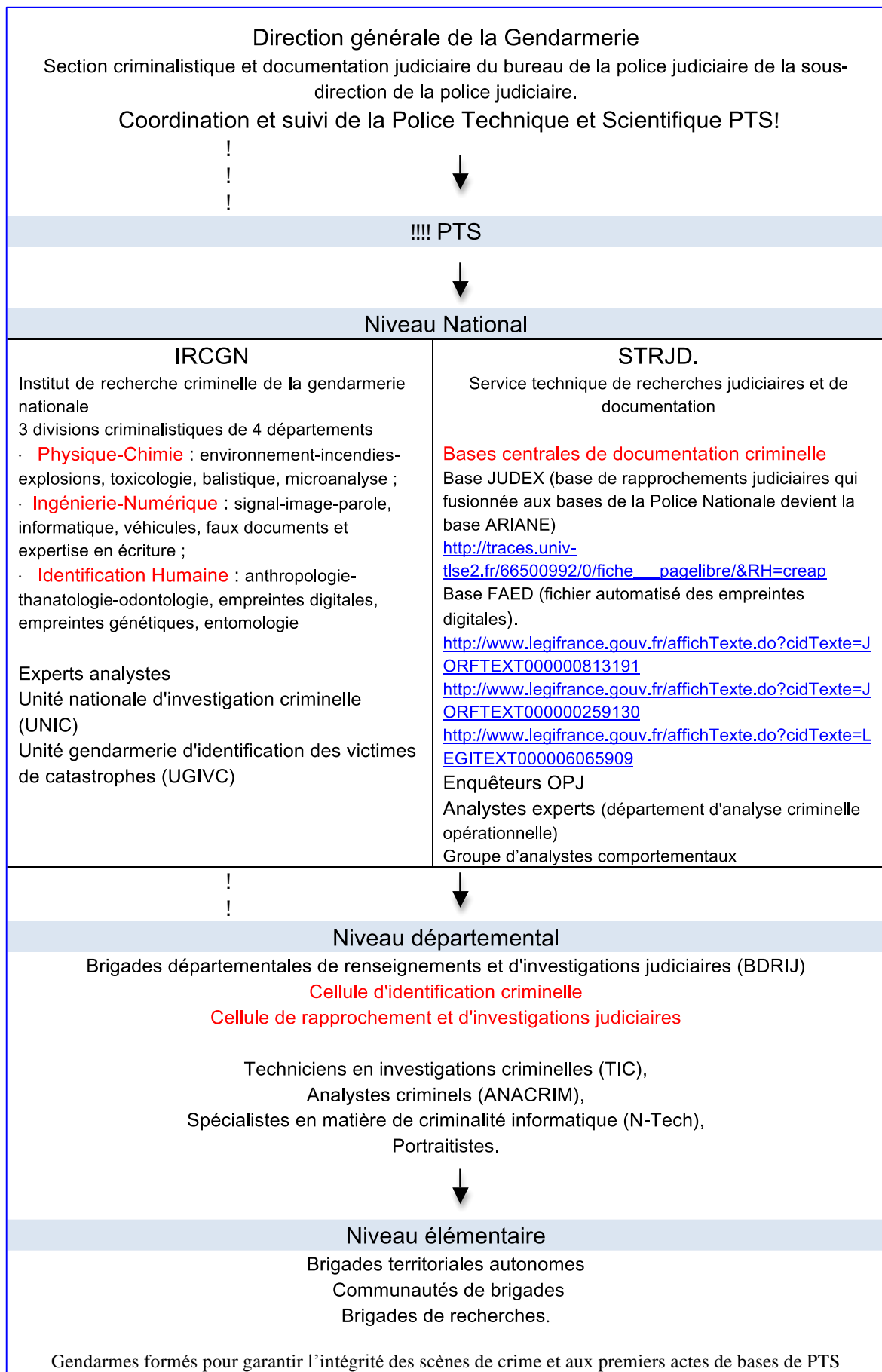


Figure 1

La BDRIJ exerce les missions suivantes :

- procéder au recueil de l'information judiciaire et à la gestion des bases de données en contrôlant la systématisation et la qualité de la remontée d'informations dans les bases nationales ; tenir à jour les dossiers de recherches spéciales ; entretenir, pour les groupements frontaliers, des relations suivies avec les centres de coopération policière et douanière (CCPD) ;
- participer à la recherche et au traitement criminalistiques de la preuve pénale par :
 - la collecte d'indices relatifs aux infractions graves ;
 - le traitement criminalistique de certains d'entre eux sur leur plate-forme technique ;
 - la saisine des laboratoires de criminalistique pour les examens dépassant leurs compétences ;
 - la réalisation de rapprochements judiciaires en relation avec le Service technique de rapprochement judiciaire et de documentation (STRJD) ;
 - l'exploitation des renseignements judiciaires dans le cadre de l'analyse criminelle.

A cette fin, les brigades sont toutes équipées d'un plateau technique, œuvrant dans l'ensemble des missions qui leur sont dévolues et composées :

- d'une cellule d'identification criminelle, spécialisée en matière de police technique et scientifique et disposant de matériels dédiés tels que mallettes de prélèvements divers (biologie, microtraces, empreintes digitales, incendies, explosifs, révélation chimique...), cuve à cyanoacrylate (révélation d'empreintes) et appareil Eye-D (identification de faux documents) ;
- d'une cellule de rapprochement et d'investigations judiciaires, participant à l'alimentation des bases judiciaires et administratives de documentation et spécialisée dans l'analyse stratégique et le rapprochement.

3.1.3. Niveau national

Le niveau national est représenté par deux unités, l'Institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale (IRCGN) et le Service technique de recherches judiciaires et de documentation (STRJD).

3.1.3.1. L'Institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale

L'IRCGN, laboratoire de criminalistique de l'arme, œuvre sur un plateau technique pluridisciplinaire et se caractérise par une grande diversité de compétences expertales et par une capacité de projection sur les scènes de crime.

En pratique, l'IRCGN comporte trois divisions criminalistiques composées chacune de quatre départements :

- division criminalistique Physique-Chimie : départements environnement-incendies-explosions, toxicologie, balistique, microanalyse ;
- division criminalistique Ingénierie-Numérique : départements signal-image-parole, informatique, véhicules, faux documents et expertise en écriture ;
- division criminalistique Identification Humaine : anthropologie-thanatologie-odontologie, empreintes digitales, empreintes génétiques, entomologie.

L'IRCGN a pour mission de contribuer par des examens scientifiques, à l'établissement des preuves relatives aux infractions pénales constatées par les officiers de police judiciaire (OPJ) de la gendarmerie et de la police nationale. A ce titre, l'IRCGN, conformément aux règles de la procédure pénale et selon des protocoles d'assurance de qualité stricts (accréditations selon la norme ISO 17025 par le Comité Français d'Accréditation ou COFRAC) :

- réalise des examens scientifiques sur réquisition des OPJ ou des magistrats ;
- effectue des expertises à la demande exclusive des magistrats ;
- assiste les enquêteurs sur le terrain lors de crimes graves ou complexes, catastrophes, attentats..., en projetant des personnels qualifiés disposant de moyens matériels adaptés et spécialisés, par la mise en

œuvre de l'unité nationale d'investigation criminelle (UNIC) ou de l'unité gendarmerie d'identification des victimes de catastrophes (UGIVC) ;

- participe à la formation des personnels de la gendarmerie dans les divers domaines de la police technique et scientifique ;
- effectue des recherches rendues nécessaires par le développement des techniques d'investigation criminelle, assure une veille technologique permanente et entretient des échanges avec les laboratoires français et étrangers ;
- joue le rôle de conseiller scientifique, voire de référent dans le cadre de travaux interministériels.

3.1.3.2. Le Service technique de recherches judiciaires et de documentation

Le STRJD gère et exploite, pour l'ensemble des unités de la gendarmerie, les bases centrales de documentation criminelle disposant ainsi de l'information touchant l'ensemble des composantes de l'enquête judiciaire : affaires et modes opératoires, personnes (auteurs, coauteurs, complices), moyens et objets (véhicules, armes, biens mobiliers, etc.) ainsi que les relevés d'empreintes et de traces. Cette information est exploitée selon deux modes :

- Un mode réactif pour lequel ce service répond 24 heures sur 24 à toute unité émettant une demande documentaire ou de recoupement entre les informations présentes dans les bases. Il sert de point d'accès national à tous les fichiers qui ne peuvent être déployés jusqu'au niveau élémentaire pour des raisons techniques, notamment ceux d'autres administrations. Le STRJD peut rapidement et à tout moment réaliser des criblages et des enquêtes d'environnement très complètes sur des individus ou des groupes au profit d'expertises. Il met en œuvre des fonctionnalités puissantes de recherches par multicritères dans la base JUDEX (base de rapprochements judiciaires devant être prochainement fusionnée avec les bases de la Police Nationale pour créer la base ARIANE, ainsi que la base FAED (fichier automatisé des empreintes digitales). Il peut informer les unités pratiquement en temps réel sur les similitudes de quelque nature qu'elles soient (manière d'opérer, éléments de description de l'auteur, indices laissés sur place, etc.) entre un fait actuel et d'autres faits commis en d'autres lieux et à un autre moment, même à des centaines de kilomètres ou des années de distance.
- Un mode proactif pour lequel, le STRJD exploite lui-même la documentation criminelle et les fichiers auxquels il a accès pour isoler de la totalité des faits enregistrés, sur la base de critères précis et sans cesse redéfinis, ceux qui sont susceptibles de constituer une série criminelle, c'est-à-dire ceux dont des éléments objectifs permettent de penser qu'ils peuvent être imputables à un même auteur ou groupe d'auteurs.

Les rapprochements effectués sont alors soit communiqués aux unités de gendarmerie ou services de police concernés par le phénomène identifié, à charge pour eux d'entrer en contact pour échanger leurs informations et coordonner leurs investigations, soit directement traités par les enquêteurs du STRJD, OPJ habilités au niveau national, qui prennent alors contact avec les unités pour enrichir l'information disponible sur ces faits. Dès que la « sérialité » est validée, une procédure est ouverte avec mise en œuvre d'un processus d'analyse criminelle, au bénéfice, et le plus souvent en co-saisine, des unités initialement saisies.

Quand il intervient ainsi dans les investigations relatives à une série criminelle, le STRJD est en mesure de projeter sur le terrain pour concourir directement à l'enquête, le plus souvent dans le cadre d'une cellule, des enquêteurs spécialisés dans l'approche sérielle et les éléments pertinents de rapprochement pour le type d'infraction concerné, des analystes experts de son département d'analyse criminelle opérationnelle, le groupe d'analyse comportementale de la gendarmerie dans les affaires d'atteintes aux personnes, notamment dans les homicides à mode opératoire particulier ou les atteintes sexuelles.

En 2007, ce sont ainsi 171 séries criminelles qui ont été identifiées et traitées en procédure par la division des rapprochements et investigations judiciaires du STRJD, portant sur un total de plus de 2000 faits, ce chiffre croissant au fur et à mesure que de nouveaux faits sont imputés aux auteurs par le processus d'analyse. Dans la presque totalité des cas, l'analyse a également permis l'identification des auteurs.

Cette capacité renforcée avec le déploiement du système ARIANE sera démultipliée par le projet PERICLES de la gendarmerie qui permettra à terme, du STRJD jusqu'au niveau départemental, de disposer d'un outil informatique de recherche semi-automatique des faits « sériels ».

Par ailleurs, le STRJD effectuée pour la Direction Générale de la Gendarmerie Nationale, des analyses stratégiques portant sur l'évolution de certaines formes de délinquance ou l'apparition de phénomènes nouveaux requérant de sa part, une adaptation permanente.

3.1.4. Formation des personnels

Celle-ci démarre dès la formation initiale du gendarme en école de sous-officiers, à l'occasion d'un module spécifique de trois mois, au cours duquel les intervenants abordent les actes élémentaires à réaliser en matière de gestion de scène de crime (gel des lieux, préservation des indices, prélèvements élémentaires, signalisation, saisine des BDRIJ...).

Formations spécialisées continues :

- Le Centre National de formation de police judiciaire à Fontainebleau, qui accueille régulièrement tous les acteurs de la police judiciaire en gendarmerie.

Les techniciens en identification criminelle (TIC) sont formés initialement pendant six semaines, puis régulièrement recyclés.

- L'IRCGN qui est fortement engagé dans toutes les formations touchant à la PTS et contribue notamment à la formation des TIC pour 50% du programme. Référent du bureau des équipements de l'administration centrale, il participe à l'élaboration de nouveaux matériels, teste leurs performances et crée les fiches techniques d'emploi et de sécurité.

En matière de fraude documentaire, la gendarmerie s'est engagée dans un programme lourd de formation ; plus de 1000 personnels sont formés par l'IRCGN. Il finalise actuellement l'enseignement de second niveau prodigué par 50 Formateurs Experts Fraude Documentaire, véritables relais techniques des exigences et besoins du Secrétariat Général du Comité Interministériel de Contrôle de l'Immigration, dont l'IRCGN est le référent reconnu.

- La gendarmerie a engagé un partenariat avec deux universités :
 - L'université de Troyes, pour le diplôme universitaire des spécialistes en technologies numériques et cybercriminalité (N'TECH), débouchant sur un MASTER Sciences et Technologies mention technologie organisation et management, spécialité sécurité des systèmes d'information.
 - L'université René Descartes, Paris 5, en liaison avec l'IRCGN, pour le diplôme universitaire de coordinateur des opérations de criminalistique.

3.2. La police technique et scientifique dans la police nationale

Deux entités traitent de la police technique et scientifique, d'une part la Sous-direction de la police technique et scientifique (SDPS) subordonnée à la direction centrale de la police judiciaire (DCPJ) et d'autre part, l'Institut national de police scientifique (INPS) (figure 2)

3.2.1. La Sous-direction de la police technique et scientifique

La Sous-direction de la police technique et scientifique a quatre grands domaines de compétence :

- les constatations techniques, la recherche et le prélèvement des indices matériels et biologiques en vue de leur exploitation sur les scènes d'infraction par les personnels de l'Identité Judiciaire (IJ) ;
- l'analyse des traces et indices au sein des services spécialisés de l'identité judiciaire, du service de l'informatique et des traces technologiques ;

- la gestion des fichiers d'identification ; fichier automatisé des empreintes digitales (FAED) et fichier national automatisé des empreintes génétiques (FNAEG), auxquels participe la Gendarmerie ;
- la gestion de la documentation criminelle dans les bases de données informatisées (fichiers des personnes recherchées, fichier des véhicules volés, Système de Traitement des Infractions Constatées (STIC), archivage électronique ainsi que la diffusion des circulaires de recherches.

La SPJD a, par ailleurs, en charge :

- la mise en œuvre d'outils informatiques pour l'ensemble des services de la direction centrale de la police judiciaire ;
- l'organisation, au sein du centre national de formation, d'actions de formation initiale et continue dans le domaine de l'identité judiciaire, au profit de l'ensemble des services de la police nationale ainsi que des services de police étrangers dans le cadre de la coopération internationale.

Pour répondre à sa mission, la SDJPS s'appuie sur plusieurs services :

- le service central d'identité judiciaire (SCIJ) assure des travaux techniques de recherche et d'exploitation de traces et d'indices (Encart 1) ;

Encart 1 : Le Service Central d'Identité Judiciaire

Le Service Central d'Identité Judiciaire (SCIJ) regroupe l'ensemble des moyens techniques propres à assurer l'identification des individus, la recherche et le prélèvement des indices matériels en vue de leur exploitation, dans ses services ou dans les laboratoires de police scientifique.

Il assure, au profit des services d'enquêtes et des magistrats, des travaux techniques de recherche et d'exploitation de traces et d'indices, de balistique, de comparaisons d'écritures, d'examens de documents.

Lors d'affaires nécessitant un nombre important de spécialistes ou la mise en œuvre de technologies dépassant les possibilités locales, le SCIJ intervient en renfort des services territoriaux. Pour ce faire, il dispose d'une *unité d'intervention* composée des personnels de ses différentes sections qui, à la demande des magistrats ou des services territoriaux, effectue des recherches d'indices matériels sur les scènes d'infraction et les prélève, en vue de leur exploitation dans ses unités spécialisées et/ou dans les laboratoires de police scientifique (LPS). Sa technicité est également sollicitée sur des scènes d'attentats à l'étranger.

Au sein de cette structure, a été constituée *l'unité police d'identification des victimes de catastrophes (UPIVC)*.

De plus, le SCIJ organise et contrôle, sur le plan fonctionnel, l'activité des services d'identité judiciaire répartis sur le territoire national.

Il détermine la politique d'équipement de ces services extérieurs et définit le contenu des formations spécialisées mises en œuvre par le centre national de formation de la sous-direction de la police technique et scientifique.

- les services territoriaux assurent la signalisation des individus, les relevés photographiques et la recherche de traces et indices (Encart 2) ;

Encart 2 : Les Services territoriaux

Les services territoriaux assurent, pour leur part, la signalisation des individus, les relevés photographiques et la recherche de traces et indices sur les lieux d'infraction.

Ils procèdent également à des travaux techniques de révélation et d'exploitation de traces et indices, de comparaisons d'écritures et d'examens de documents.

Ils se composent de :

19 services régionaux d'identité judiciaire (SRIJ), implantés au sein des directions interrégionales de police judiciaire, directions régionales de police judiciaire et services régionaux de police judiciaire auxquels il faut ajouter les services d'identité judiciaire de la préfecture de police.

178 services locaux de police technique (SLPT) et d'identité judiciaire (SLIJ) relevant de la Police Judiciaire, de la Sécurité publique et de la Police aux Frontières.

600 bases techniques et unités de signalisation rattachées aux services de Police judiciaire, de la Sécurité publique et de la Police aux frontières, animées par des policiers «polyvalents» (gardiens de la paix formés aux actes simples d'identité judiciaire : signalisation des personnes mises en cause pour crime ou délit et recherche de traces et indices par des procédés ne nécessitant pas l'intervention de spécialistes).

- le fichier automatisé des empreintes digitales (Encart 3) ;

Encart 3 : Le fichier automatisé des empreintes digitales

Le FAED est géré sur le plan opérationnel par le SCIJ et permet d'une part l'identification des personnes, et notamment la détection des usurpations d'identité ou des identités multiples et d'autre part l'identification des traces papillaires relevées sur une scène d'infraction. Dans le cadre de l'application de la loi d'orientation et de programmation pour la sécurité intérieure du 29 août 2002 (LOPSI), le nouveau décret n° 2005-585 du 27 mai 2005 modifiant le décret initial de création du FAED permet l'enregistrement dans la base des traces et empreintes palmaires ainsi que des clichés anthropométriques.

Son architecture se compose de :

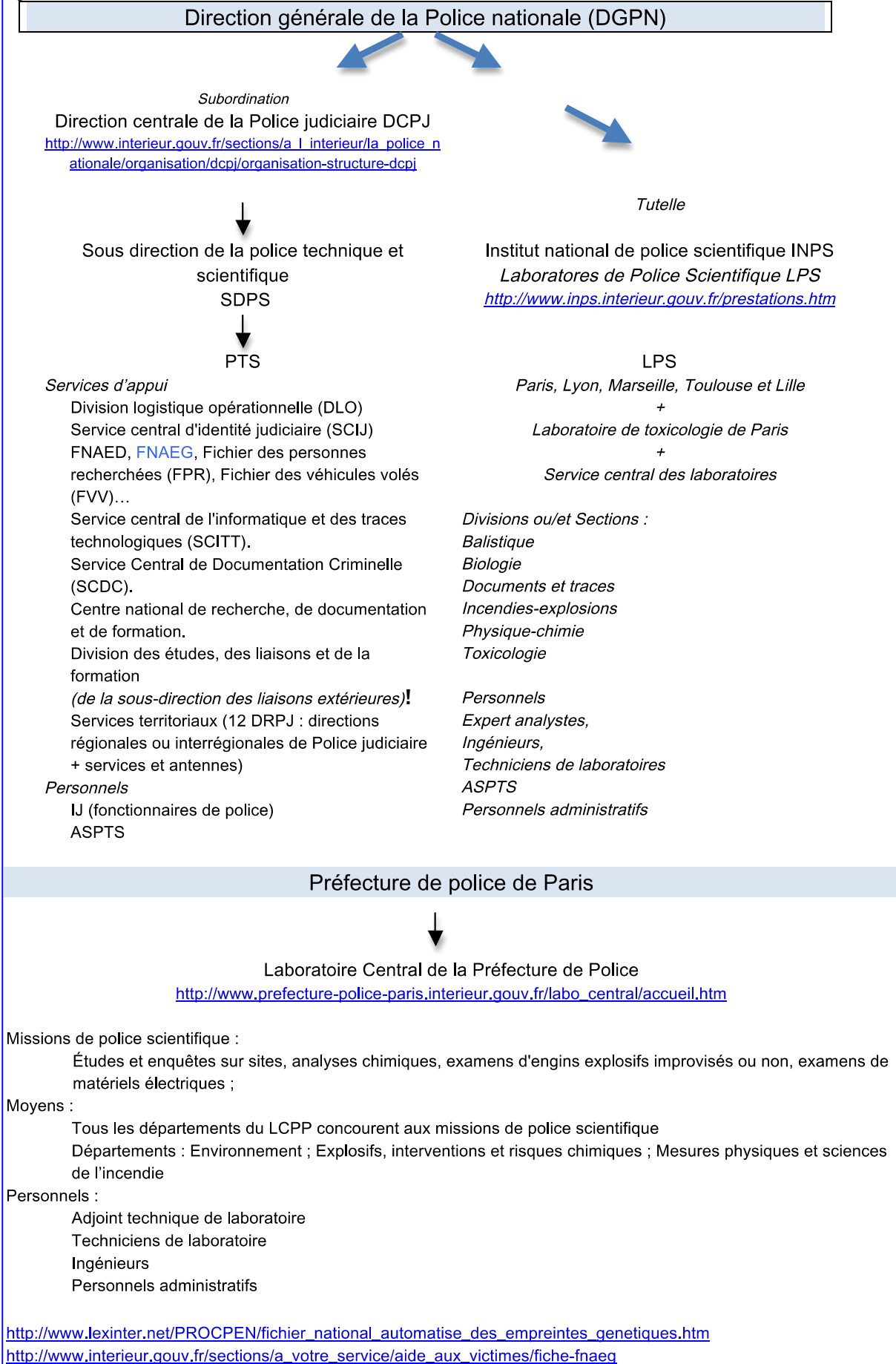
- *3 sites de saisie des fiches décadactylaires et d'exploitation des traces papillaires*, installés au SCIJ, à la préfecture de police de Paris et au STRJD (Rosny-sous-Bois).

- *19 sites chargés de l'exploitation décentralisée des traces papillaires et de la consultation du fonds documentaire* implantés dans les services régionaux d'identité judiciaire (SRIJ).

Une nouvelle étape, en cours de réalisation, a pour objectif de donner une réponse opérationnelle aux services enquêteurs dans le temps de la garde à vue ou de la flagrance par le biais du déploiement de bornes de signalisation numérisée se substituant à la technique traditionnelle d'encrage des doigts et permettant l'alimentation et la consultation directes du fonds documentaire du FAED.

Le 01/01/2008, la base de données du FAED, commune aux services de police et de gendarmerie, est constituée des relevés décadactylaires de *2 766 283 personnes mises en cause pour crimes et délits*.

Figure'2'



- le fichier national automatisé des empreintes génétiques (Encart 4) ;

Encart 4 : Le fichier national automatisé des empreintes génétiques

Le fichier national automatisé des empreintes génétiques (FNAEG) a vu élargir son champ d'application depuis sa création en 1998, notamment grâce à la loi n° 2003-239 du 18 mars 2003 relative à la sécurité intérieure.

Profils gérés au fichier

Il centralise les profils génétiques :

- issus de traces non identifiées recueillies sur les scènes d'infraction,
- des individus condamnés,
- des individus mis en cause (personnes à l'encontre desquelles il existe des indices graves ou concordants rendant vraisemblable qu'elles aient commis l'infraction) pour des infractions listées à l'article 706-55 du code de procédure pénale, à savoir les principaux crimes d'atteintes aux personnes et aux biens, notamment la délinquance de masse.
- les profils génétiques établis dans le cadre des procédures de disparitions inquiétantes de personnes et de recherche des causes de la mort, ainsi que ceux correspondant ou susceptibles de correspondre aux personnes décédées ou recherchées.

Profils non gérés au fichier mais pouvant faire l'objet de demande de rapprochements

Le génotype des personnes suspectes (personnes à l'encontre desquelles il existe une ou plusieurs raisons plausibles de soupçonner qu'elles aient commis un crime ou un délit) peut faire l'objet d'une demande de rapprochement avec les données du fichier mais ne peut toutefois pas y être enregistré.

Au 01/01/2008, la base de données gérait les profils génétiques de **27 170 traces et de 615 027 individus**. Elle avait permis de **rapprocher 10 682 affaires**.

Mise en œuvre du fichier

En application du décret n°2000-413 du 18 mai 2000, le FNAEG est mis en œuvre par la direction centrale de la police judiciaire. A ce titre, le SCIJ assure la saisie des données (profils génétiques transmis par les experts agréés exerçant au sein des laboratoires de police scientifique, de l'institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale ou de laboratoires privés) et la consultation de la base à la demande des magistrats et des services d'enquête. Cette consultation est accessible aux enquêteurs à partir de leur poste de travail, grâce à des liaisons télématiques qui leur permettent également de transmettre directement les données procédurales dans le FNAEG. La prochaine étape, en cours de réalisation, est la transmission directe par voie télématique, des données en provenance des laboratoires (publics et privés).

Devenir des scellés

La Gendarmerie Nationale, en ce qui la concerne, assume la responsabilité de la conservation des scellés qui ont fait l'objet d'un traitement biologique. Cette mission est prise en compte par le service central de préservation des prélèvements biologiques (SCPPB), géré par l'institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale (IRCGN).

- le service central de l'informatique et des traces technologiques (Encart 5) ;

Encart 5 : Le service central de l'informatique et des traces technologiques

Il se compose de deux sections :

Section informatique

La section informatique assure, au plan national, le développement et le suivi d'applications informatiques d'aide à l'enquête, comme TREIMA (photothèque des œuvres d'art signalées volées) et RAPACE (contre-façon de monnaie, notamment l'Euro). Elle est également chargée de la gestion des systèmes d'information de la direction centrale de la police judiciaire, de la formation et du suivi d'activité des coordinateurs informatiques implantés dans les services centraux et territoriaux.

Section traces technologiques

La section des traces technologiques ou laboratoire d'analyse et de traitement de signal effectue des travaux techniques dans les domaines du son, de l'image, de la téléphonie mobile, et de l'informatique. Afin de répondre aux demandes croissantes des services d'enquêtes, 19 services régionaux de l'informatique et des traces technologiques ont été créés au sein des directions interrégionales ou régionales de la police judiciaire et des services régionaux de police judiciaire.

- le Service Central de Documentation Criminelle permet d'obtenir des informations pour orienter les recherches (Encart 6) ;

Encart 6 : Le Service Central de Documentation Criminelle

Le Service Central de Documentation Criminelle (SCDC) doit permettre au policier, en un minimum de temps, d'obtenir des informations pour orienter ses recherches, faire des rapprochements, identifier les personnes, signaler les objets volés ou remarqués, diffuser les auteurs en fuite ou les personnes en danger.

Le SCDC conçoit, met en œuvre et administre plusieurs systèmes d'information nationaux d'aide à l'enquête pour l'ensemble de la police nationale :

- **Le système de traitement des infractions constatées (STIC)** qui permet aux policiers l'accès immédiat aux informations issues des procédures d'enquêtes judiciaires (informations relatives aux faits, aux personnes mises en cause ou victimes ainsi qu'aux objets). Comme pour le système JUDEX de la Gendarmerie nationale, le système de recherches criminelles dénommé ARIANE, commun à la police et à la gendarmerie nationale se substituera aux bases nationales actuelles STIC.

- **Le fichier des personnes recherchées (FPR) et le fichier des véhicules volés (FVV)**, dont les bases de données sont communes aux services de police et de gendarmerie et qui sont accessibles par l'intermédiaire de postes de travail, dans les services d'enquêtes.

- **Le fichier central** qui assure également la gestion et la consultation des dossiers criminels anciens où sont conservées les archives en version papier, les archives contemporaines étant numérisées.

Moyens de diffusion imprimée ou électronique

D'autre part, le SCDC effectue les diffusions de recherches de police judiciaire au moyen de circulaires éditées par son imprimerie ou par voie électronique grâce au logiciel SARBACANE qui permet, en cas d'urgence et eu égard à la gravité de l'affaire, de servir tous les services de police et la direction générale de la gendarmerie nationale.

Sur demande du magistrat chargé de l'affaire, des informations peuvent également être mises en ligne sur le site Internet de Recherches Criminelles (IRC) du ministère de l'Intérieur. Les internautes disposent de formulaires spécifiques afin de pouvoir communiquer leurs informations directement aux services enquêteurs.

Un lien a été créé avec l'IRCGN, facilitant ainsi la navigation des internautes sur les sites officiels dédiés aux recherches criminelles.

Autres moyens

20 sites régionaux de documentation criminelle, implantés dans les directions interrégionales ou régionales de police judiciaire et dans les services régionaux de la police judiciaire ainsi qu'à la préfecture de police, participent à la mise en œuvre et à la gestion de ces systèmes.

- la division des études, des liaisons et de la formation (Encart 7).

Encart 7 : La Division des Etudes, des Liaisons et de la Formation

Elle se compose de 3 entités :

Le centre national de formation

Chaque année, une soixantaine de stages est organisée dans les différents domaines de compétence de la police technique et scientifique (identité judiciaire, informatique et traces technologiques, documentation criminelle). Les formations en informatique et en documentation criminelle sont dispensées respectivement par le service de l'informatique et des traces technologiques et par le service central de documentation criminelle.

La section des études, de la communication et des relations internationales.

La section du recrutement et de la gestion des personnels scientifiques qui est chargée du recrutement des personnels scientifiques : agents spécialisés en police technique et scientifique (ASPTS), techniciens et ingénieurs.

3.2.2. L'institut national de police scientifique (INPS)

L'INPS, établissement public sous tutelle du Ministère de l'Intérieur exercée par le DGPN, a été créé par l'article 58 de la loi du 15 novembre 2001. Il regroupe les 5 laboratoires de la police scientifique de Lille, Lyon, Marseille, Paris et Toulouse, le laboratoire de toxicologie de la Préfecture de Police et le service central des laboratoires. L'INPS exerce en son sein des activités dans les domaines suivants :

- Balistique : étude des armes, munitions, détermination des trajectoires de tir... ;
- Biologie : analyses de traces biologiques (sang, sperme...) et établissement de profils génétiques ;
- Documents-traces : examens de documents, études comparatives d'écritures manuscrites et dactylographiques, révélations et études des traces papillaires ;
- Incendies-explosions : analyses des explosifs et liquides inflammables, détermination des causes d'un incendie.
- Physique-chimie : analyses de peintures, verres, fibres, recherche de résidus de tirs... ;
- Stupéfiants.
- Toxicologie : recherche de toxiques dans les matrices biologiques et dans toutes autres matrices.

Sur Paris, il existe trois entités criminalistiques :

- Le laboratoire de police scientifique (qui appartient à l'INPS) ;
- Le laboratoire de toxicologie de la Préfecture de Police (intégré à l'INPS) ;
- Le laboratoire central de la Préfecture de Police (LCPP) : ce dernier ne fait pas partie de l'INPS.

Le LCPP est un organisme scientifique et technique, placé sous l'autorité du préfet de police. Ses activités sont diverses :

- Environnement : études et enquêtes sur site, analyses chimiques ;
- Sécurité : expertise de risques technologiques, prévention des risques, conseil aux services de secours, enquêtes après accidents ou attentats ;
- Police scientifique : études et enquêtes sur sites, analyses chimiques, examens d'engins explosifs improvisés ou non, examens de matériels électriques ;
- Formation professionnelle à la lutte contre les intoxications oxycarbonées, information et reconnaissance des engins explosifs improvisés.

L'IRCGN et l'INPS permettent aux magistrats de disposer d'une double capacité d'expertise dans le domaine public (capacité d'expertise et de contre-expertise). En effet, sa concentration dans un seul organisme poserait le problème de la contre-expertise, laquelle est prévue par le code de procédure pénale. Pour des raisons de crédibilité, celle-ci ne doit pas être effectuée par le même organisme, quand bien même les experts sont réputés indépendants car le statut d'expert est attribué à l'établissement pour la totalité des laboratoires placés sous sa tutelle

4. Gestion de la scène du crime, théorie et pratique

4.1. Approche théorique

Il existe bien évidemment une grande variation de situations. Pour une gestion pragmatique et efficace, il faut agir avec méthode et objectivité. Une protection draconienne des lieux et des personnes est primordiale. Est-il possible de rechercher toutes les traces de façon systématique ? Il s'agit d'être le plus exhaustif possible, de veiller à bénéficier de matériels et de techniques spécifiques. La standardisation est importante mais elle doit s'accompagner d'une réflexion permanente, de la formulation d'hypothèses qui guident des choix les plus objectifs possibles. Il faut se méfier car il existe une tendance naturelle à rechercher ce que l'on reconnaît et notamment ce que l'on exploite en routine. Une trace matérielle permettant de nombreuses identifications est privilégiée aux dépens d'autres traces moins classiques.

L'expérience des techniciens, le travail en équipe, la coordination des investigations sont des éléments clés à considérer.

4.2. Méthodologie, les grands principes de la criminalistique

Deux grands principes dus à Locard et Kirk soulignent la valeur fondamentale de l'indice.

4.2.1. *Le principe de Locard ou principe de l'échange*

Edmond Locard (1877-1959), élève de Lacassagne, fut directeur du laboratoire de police scientifique de Lyon. Esprit visionnaire, il est l'auteur de nombreux ouvrages de police scientifique (voir : « L'enquête criminelle et les méthodes scientifiques », Flammarion, Paris, 1920).

En 1920, il énonce que « nul ne peut agir avec l'intensité que suppose l'action criminelle sans laisser des marques multiples de son passage. Tantôt le malfaiteur a laissé sur les lieux les marques de son activité, tantôt par une action inverse, il a emporté sur son corps ou sur ses vêtements les indices de son séjour ou de son geste ».

Il est souvent exprimé sous sa forme, « tout contact laisse une trace ». Ce principe est d'importance majeure car il offre la possibilité d'identifier ou de mettre en évidence des personnes, des objets, un moment, une durée, des actions, des faits, des liens, un mobile en se fondant sur la nature et la localisation des traces.

De même, il introduit les notions de transferts simples ou croisés, de persistance, de durée de vie de l'indice. La pertinence des indices et leur utilité en fonction des différents temps de l'enquête en découlent également.

4.2.2. *Le principe de Kirk ou principe de l'identification*

Kirk, professeur de criminalistique américain, écrit en 1963 que « tout objet de notre univers est unique. Deux objets d'origine commune peuvent être comparés et une individualisation prononcée si ces objets sont d'une qualité suffisante permettant l'observation de l'individualité » (voir : « Crime investigation », 2nd edition, Wiley & Sons, New York, 1974).

Ce principe a pour conséquence que deux événements aléatoires ne se produisent jamais exactement de la même façon, que jamais deux objets n'ont été construits ou fabriqués de la même façon, qu'ils ne s'usent ou ne se brisent jamais de la même manière.

Kirk définissait la criminalistique comme la science de l'individualisation. Une trace est l'indicateur d'une source ; une trace est l'indicateur d'une action. Ces deux principes consacrent la valeur de l'indice et la nécessité de sa recherche.

5. La gestion pratique de la scène de crime

5.1. Les premiers intervenants

Les premiers intervenants, le plus souvent des gendarmes de brigades ou policiers de commissariats, ont un rôle primordial car ils sont les premiers à devoir gérer la scène de crime. Ils ne sont pas rompus à l'enquête criminelle par conséquent leur mission est difficile mais elle est prépondérante.

Leur rôle est tout d'abord constructif car ils doivent délimiter, protéger les lieux et sauvegarder les traces les plus exposées. Il est aussi prospectif puisqu'ils doivent noter ce qu'ils ont vu, entendu, senti et même ressenti, une ambiance par exemple.

La prise de notes face à une situation inattendue, et pour laquelle il leur est difficile de prendre du recul, est cruciale. L'idéal est de mettre en place un registre de la scène de crime où seront inscrits les éléments suivants :

- les heures d'alerte et d'arrivée sur les lieux ;
- l'identité des personnes présentes sur les lieux (qu'il peut être nécessaire d'isoler en tant que témoins ou suspects) ;
- les entrées et les sorties sur la scène de crime ;
- les artefacts des premiers secours (pompiers, équipes médicales...).

Le rôle des premiers secours est important à considérer. Ils sont bien souvent les premiers sur place, avant les premiers enquêteurs. Ce qu'ils ont vu et fait doit être consigné sur des formulaires de renseignements à compléter et à donner aux enquêteurs.

Il est certain que l'urgence de la prise en charge fait qu'il n'est pas possible de conserver les lieux en l'état. La préservation de la vie doit avoir priorité sur la préservation de la scène de crime et des éléments de preuve. Ceci fait que le corps est bien souvent déplacé de sa position initiale. Les traces sont dispersées. Des empreintes peuvent être laissées à différents endroits. L'expérience montre que les équipes de secours ne prêtent pas attention à la scène de crime à leur arrivée. Le caractère d'urgence n'est pas compatible avec la méthodologie médico-légale classique et ce sont seulement les équipes d'urgence, formées à la médecine légale, qui peuvent avoir les réflexes adéquats. Un module de formation sur l'obstacle médico-légal au profit des médecins premiers intervenants aurait pour objectif de veiller à ce que tous les décès présentant un problème médico-légal soient signalés comme tels !

Recommandations

Les recommandations suivantes peuvent être formulées quant à l'action des pompiers et des urgentistes :

- veiller à la sécurité de l'équipe ;
- mémoriser l'état des lieux ;
- isoler les premiers témoins jusqu'à l'arrivée des OPJ. Eviter la présence de curieux sur place ;
- essayer d'approcher la victime par un autre chemin (s'il peut être supposé) que celui de l'agresseur. Utiliser un seul circuit pour entrer et sortir, en évitant de marcher sur les traces, les liquides biologiques, les objets à terre.
- garder toutes les issues fermées, ne pas aérer la pièce où se trouve le corps ;
- dès qu'un membre de l'équipe est disponible, ou idéalement dès l'arrivée sur les lieux, prendre des photographies de la victime et de l'environnement ;
- porter des gants. Ne rien déplacer sauf nécessité, y compris la victime. Ne toucher les éléments de preuve, y compris les armes, qu'en cas de nécessité absolue, en notant auparavant dans ce cas l'emplacement ou en photographiant en utilisant des repères ;
- ne rien nettoyer dans l'évier ou le lavabo sur place, ne rien consommer sur la scène de crime, ne pas fumer, ne rien laisser sur place ;

- si besoin, découper les vêtements en respectant les orifices d'armes, les déchirures, et si possible, les conserver un par un dans des sacs différents ;
- une fois les manœuvres de réanimation effectuées, chercher le premier témoin pour reconstituer l'histoire, se garder de tout commentaire car le praticien est toujours lié par le secret professionnel à son patient, même décédé ;
- remplir le formulaire de renseignements qui consignera notamment les modifications apportées sur les lieux, les manœuvres de réanimation, des paramètres cliniques tels que la température rectale et si possible la température ambiante, les prélèvements effectués ;
- remettre tous les effets personnels de la victime aux OPJ à leur arrivée.

Une gestion optimale par les premiers intervenants (secours et enquêteurs) aura donc pour objectifs de perdre un minimum d'indices, de conserver une réalité des premiers instants et permettra le transfert, dans les meilleures conditions possibles, de la scène de crime des premiers intervenants vers les techniciens de scène de crime appelés techniciens en identification criminelle (TIC) pour la gendarmerie et gestionnaires de scènes d'infractions (GSI) pour la police.

L'arrivée des techniciens de scène de crime permet la désignation d'un responsable parmi l'un d'entre eux, le gestionnaire. Il devra veiller à identifier, sécuriser, protéger et prélever tous les indices potentiels et pertinents. Il aura une vue d'ensemble et coordonnera l'action des autres techniciens.

La gestion d'une scène de crime peut être abordée à trois niveaux successifs.

- Une première phase d'évaluation dans laquelle, après discussion avec le directeur d'enquête qui fournit dans la mesure du possible des informations sur le contexte, va permettre la mise en place d'un premier niveau de gestion. Le protocole retenu comporte la fixation de l'état des lieux avec réalisation de croquis, films et photographies. Un plan de recherche et de prélèvements des traces est ébauché.
- Une deuxième phase dite d'investigations où un certain nombre d'hypothèses vont être générées et où l'on va alors orienter les recherches, sélectionner des indices considérés comme pertinents puis discriminer ou exclure des traces.
- Une troisième phase de gestion criminalistique globale en collaboration avec différents spécialistes et experts au cours de laquelle les indices sont passés en revue, la priorité à donner aux expertises est déterminée, la démarche est adaptée aux nouvelles données de l'enquête et enfin les résultats sont interprétés. Il s'agit d'une étape reconstructive.



5.2. La reprise de la scène de crime

5.2.1. Investissement de la scène de crime par le TCI

La reprise de la scène de crime correspond à l'intervention des techniciens de scène de crime qui prennent en compte les lieux à l'aide d'un équipement spécifique (tenue jetable, masque, bonnet, sur chaussures...) pour éviter les contaminations des indices et assurer leur propre protection. Il faut souligner qu'ils sont à ce niveau les « maîtres des lieux ».

C'est le TCI gestionnaire de scène de crime qui va décider qui peut ou ne peut pas rentrer sur les lieux avec bien évidemment, dans ce cas, le port d'un équipement adapté.

5.2.2. Exploitation du travail des premiers intervenants

Il s'agit de reprendre en compte le travail des premiers intervenants et de choisir, en fonction de lieux et de situations à chaque fois différentes, des protocoles d'intervention. Les missions doivent être définies et réparties au sein de l'équipe. Définir et baliser un cheminement de progression est un point important. Ainsi dans une maison, on peut choisir de travailler étage par étage, pièce par pièce. Sur une surface donnée, on peut délimiter par exemple des carrés ou des zones et les aborder dans un ordre défini.



Il faut ensuite fixer l'état des lieux par des photographies et des images vidéo en incluant si nécessaire, numérotation et échelle métrique. Plans cotés et croquis détaillés sont consommateurs de temps mais également indispensables.

Les techniques de photogrammétrie, l'utilisation de laser progressent. Elles permettent d'opérer très rapidement, de réaliser ensuite des mesures très précises sur les images numériques obtenues et de faire des reconstructions en trois dimensions. Ces méthodes sont amenées à se généraliser.



5.3. Caractéristiques des traces

La progression sur une scène de crime doit se faire du général au particulier pour la recherche des traces et indices.

5.3.1. Que doit-on rechercher ?

En pratique, il faut s'intéresser à tous types de traces ou d'indices tels que marques de passages, traces de chaussures, de véhicules, de gants, d'empreintes de textiles, traces d'outils, traces moulées ou glissées, traces consécutives à l'emploi d'armes à feu, traces de lutte, désordre. Qu'est ce qui a été modifié, apporté ou enlevé ?

Il faut donc rechercher tout ce qui peut servir à identifier le ou les auteurs et à comprendre ce qui s'est passé.

5.3.2. Comment doit-on raisonner ?

Une question fondamentale est donc de savoir comment l'on doit raisonner sur une scène de crime. Le mode de raisonnement paraît devoir se rapprocher du diagnostic médical, qui est un raisonnement hypothético-déductif, selon le schéma suivant (Paolaggi et Coste) (figure 10) :

En s'appuyant sur les travaux de C.-S. Peirce et U. Eco, il apparaît que la première démarche intellectuelle face à une scène de crime est abductive et intuitive. Elle inventorie et cherche à relier, organiser des données, des signes.

Selon Christian George, l'abduction ne peut être guidée que par les connaissances connexes de l'individu. C'est la raison pour laquelle la production d'hypothèses passe par l'activation de ces connaissances. Ce processus d'activation peut être aidé par des raisonnements de type descriptif ou analogique, voire par des arbres décisionnels, une démarche heuristique.

5.3.3. Génération d'hypothèses ou analyse fonctionnelle des événements

Cette première phase d'observation se termine par la génération d'hypothèses. Il s'agit de faire une première évaluation de la gestion de la scène et de discuter avec le directeur d'enquête (DE) donc de donner, de valider ou de modifier les hypothèses de travail du DE, de faire une analyse fonctionnelle des événements.

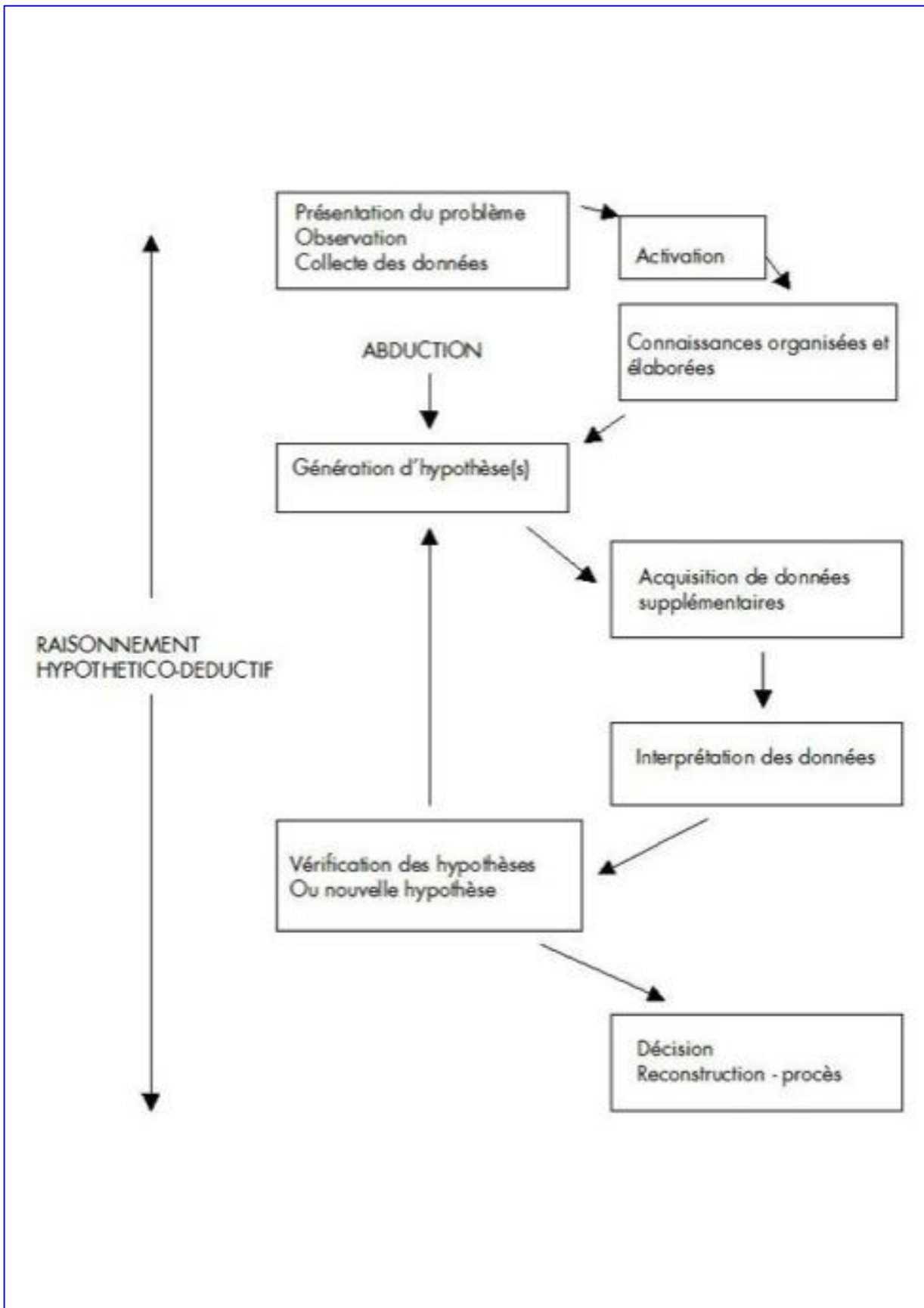
Sur place les investigations doivent aboutir à une vue d'ensemble forensique, à l'orientation des recherches, à la sélection des indices pertinents, à la discrimination ou à l'exclusion de traces. C'est ainsi que l'on va s'intéresser aux éléments suivants :

- le passage en revue des indices ;
- la venue d'experts sur les lieux ;
- la détermination de la priorité des expertises ;
- l'interprétation des résultats et analyses par rapport à l'évaluation de la scène de crime ;
- l'adaptation aux nouvelles données de l'enquête ;
- fournir des informations au DE pour l'aider à orienter son enquête ;
- faire le lien avec le ou les laboratoires, les experts. Informer en temps réel de toutes les informations provenant des travaux scientifiques et de leur signification ;
- aviser les enquêteurs des nouvelles opportunités scientifiques quand l'enquête progresse.

Lorsque des hypothèses sont cristallisées, le processus de reconstruction des faits est envisagé.

Il y a donc en matière d'investigation, d'évaluation et de coordination forensiques, nécessité d'une formation très complète aux différents modes de raisonnement et aux processus heuristiques.

Figure 10 : schéma de Paolaggi et Coste



5.3.4. De la trace à l'indice

Différents types de traces peuvent donc être présents sur une scène de crime. Elles peuvent être d'origine humaine ou non humaine et leur pouvoir discriminant, leur pertinence, sont plus ou moins importants. Face à une multiplicité de traces, comment effectuer un choix ? Certaines traces peuvent être détruites par les investigations. Que peut-on tolérer ? Quelles techniques utiliser ? Des options stratégiques sont nécessaires.

Comment passe-t-on de la trace à l'indice ? Il s'agit ici de sémiotique. De la reconnaissance, de l'importance, accordées à une trace, celle-ci se trouve transformée en indice et peut donc prendre une signification.

On peut définir la valeur des indices physiques selon certains critères :

- la localisation permet dans certains cas de déterminer qu'ils résultent de l'enchaînement des faits. Ceci rejoint la notion de pertinence. Ainsi une trace de chaussure retrouvée sur le rebord
- la datation se rencontre occasionnellement mais peut être fort intéressante comme par exemple un fragment d'optique caractéristique retrouvé près d'un corps renversé par un véhicule ;
- le potentiel : les traces physiques permettent de relier une personne ou un objet lui appartenant à une scène de crime ; relier différents délits sur les lieux desquels des traces de même nature, identiques ou similaires ont été collectées (ADN, traces d'oreilles, empreintes digitales) ;
- l'apport reconstitutif : les indices découverts peuvent permettre de déterminer le nombre de participants aux faits, leurs déplacements, leur degré de participation, d'établir des liens entre plusieurs infractions, des modes opératoires identiques.

Le technicien de scène de crime doit avoir en permanence à l'esprit les propriétés et la nature des traces ; elles peuvent être fragiles, contaminables et, pour certaines, virtuelles (traces numériques).

Les traces d'origine humaine sont potentiellement nombreuses. Il peut s'agir d'empreintes digitales, de traces d'oreilles ou de lèvres, de morsures, de liquides biologiques (sang, sperme, salive...), de phanères (cheveux, poils, ongles). Mais il peut s'agir aussi d'une voix, d'une écriture par exemple.

Certaines traces peuvent être liées directement à un individu, telles que des traces de chaussures, des fibres. D'autres, très diverses, sont liées aux faits, aux objets, aux lieux telles que traces de pneus, verres, sols, projectiles et résidus de tirs, poisons, polluants, toxiques, stupéfiants, explosifs, données électroniques, insectes...

- d'une fenêtre dont la vitre qui a été cassée est intéressante. Elle peut avoir comme source l'auteur ;
- replacer dans son contexte chaque indice ;

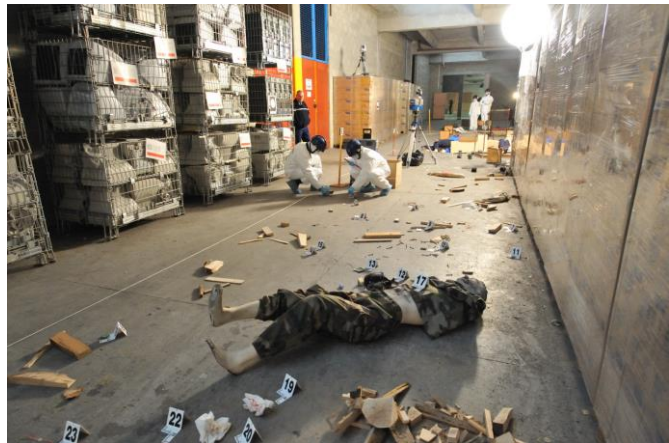
Les traces ont aussi un caractère visible ou latent. Elles sont plus ou moins fragiles, voire labiles et évolutives et leur pertinence peut évoluer en fonction du temps.

Méthodologie de la recherche

Pour rechercher les traces, il s'agit d'être méthodique. Un balayage systématique des lieux est nécessaire. Il s'effectue par un parcours géométrique pour éviter d'oublier une zone. On utilisera par exemple une méthode de progression par cercles concentriques ou par quadrillage. Chaque trace, chaque indice relevé portera la référence du lieu de sa découverte. La traçabilité est un maître mot.



Quadrillage



Fixation des indices

Outils de la recherche

La mise en évidence des indices nécessite un matériel de recherche, par exemple loupe, systèmes d'éclairage avec lumière blanche ou de différentes longueurs d'ondes (Polylight ou Crimescope), et des procédés de révélation physico-chimiques adaptés au type de traces à révéler. Ainsi, pour ne citer que le domaine des empreintes digitales, les notions de supports poreux ou non poreux doivent être considérées. A côté des poudres conventionnelles, magnétiques, on dispose de poudres fluorescentes (excitées au laser), d'iode, de suspensions de particules de molybdène, de ninhydrine, de cyanoacrylate, de chlorure de sodium. Ainsi, des choix stratégiques sont nécessaires, fonction du support, de ses particularités, de l'humidité car l'emploi de certains produits peut contrecarrer la recherche d'autres indices.



Cuve à cyanoacrylate



Loupe



Générateur de lumière monochromatique



Bluestar sur traces de sang

5.4. La phase de prélèvements

5.4.1. Mode de recueil

Après la mise en évidence suit la phase de prélèvements et d'échantillonnage. Là aussi, les méthodes sont multiples et fonction de la situation : prélèvements simples, grattage, utilisation d'adhésifs (pour les poils et les fibres...), humidification (pour une tache séchée, comme par exemple du sang), découpage, moulage (traces de pas, d'outils...) ou de secouage... Des appareillages existent comme par exemple le révélateur électrostatique de particules qui permet de relever une empreinte de pas par action sur la poussière.

5.4.2. *Mise en condition et acheminement*

Pour la conservation et l'acheminement au laboratoire, le conditionnement doit garantir l'avenir de l'indice. Les ennemis sont notamment l'humidité, la chaleur, la lumière qui dégradent par exemple les traces d'ADN. Il faut privilégier le conditionnement individuel, éviter les frottements, séparer les contenants de liquides des autres prélèvements. C'est ainsi que sur une arme de poing retrouvée sur une scène de crime et conditionnée en vue de l'expertise balistique, peuvent se trouver des particules de poudre, des traces de sang, des empreintes digitales, des fibres qu'il est nécessaire de préserver.

5.4.3. *Mise à disposition de la justice puis de l'expert*

Pour une mise à disposition de la justice des indices, la réalisation de scellés est une obligation légale, de même que l'inventaire des pièces à conviction. Traçabilité, continuité de la preuve sont les maîtres mots. C'est la charge d'un enquêteur dit « procédurier ».

5.5. Les experts

Les nombreux domaines de la criminalistique font que différents experts se côtoient sur une scène de crime. Nous focaliserons nos propos sur ceux qui peuvent faire des constatations, des prélèvements, des mesures sur la scène de crime mais aussi participent à la reconstruction de la scène de crime et à la reconstitution des faits : principalement le médecin légiste, le balisticien, les experts en traces de sang et en incendie et le spécialiste en accidentologie.

5.5.1. *L'intervention du médecin légiste*

5.5.1.1. *Le médecin légiste est-il un technicien de scène de crime ?*

Le médecin légiste est un intervenant important sur la scène de crime. La levée de corps, qui consiste idéalement en un examen du corps sur place et en place, ne doit pas être négligée. Un « œil médical » sur le corps et son environnement, sur les lieux, sur les indices, sur les prélèvements, a prouvé son utilité et son efficacité dans un grand nombre d'affaires. Le médecin légiste doit considérer qu'il fait partie d'une équipe et qu'il est également un technicien de scène de crime. Il doit aussi être considéré comme tel.

Abordons son rôle sur la scène de crime dans une perspective de collaboration constante avec les différents spécialistes de criminalistique. Il faut cependant souligner que la présence du médecin légiste sur les lieux d'un crime ne fait pas l'objet d'un consensus. Ainsi, en France, des services de médecine légale et des unités médico-judiciaires ont été créés dans de nombreuses régions et un médecin légiste de garde se déplace à la demande des enquêteurs. Certaines contrées de France restent dépourvues de médecins compétents ou disponibles en la matière. En Grande-Bretagne, les « police surgeons » travaillent depuis longtemps au profit de la Police, sélectionnant les cas où il est nécessaire de faire appel à un médecin légiste. Aux États-Unis, le déplacement du médecin légiste est exceptionnel. Dans certains États, interviennent des « investigators », enquêteurs spécialement formés à la médecine légale.

Toutes notions d'organisation, de coût ou de disponibilité, étant écartées, le problème clé nous paraît être le suivant. Doit-on réserver la présence du médecin légiste aux homicides complexes ou doit-on le faire venir sur toutes les découvertes de cadavres, son expérience lui permettant parfois de révéler le caractère suspect d'un décès ? Nous pensons que l'emploi du médecin légiste doit être le plus large possible.

Raisons requérant obligatoirement un médecin légiste

Il y a des nécessités médico-légales classiques à la venue du médecin légiste sur les lieux de découverte d'un cadavre :

- estimer le temps écoulé depuis le décès ;

- faire une analyse clinique des causes et des circonstances du décès ;
- lutter contre le dépérissement des preuves ;
- identifier le corps.

Des recommandations européennes datant de 1999 ont dressé une liste des obstacles médico-légaux à l'inhumation qui doivent conduire à la pratique de levées de corps et d'autopsies. La « levée de corps » constitue à notre avis une urgence médico-légale qui justifie bien un large recours au médecin légiste. Mais pour être efficace, il faut qu'un maillage territorial suffisant soit mis en place au profit des forces de police et des magistrats.

Pour le médecin légiste qui fait l'autopsie, participe à la reconstitution des faits, témoigne au procès, sa présence sur les lieux lors des constatations est une plus-value évidente à la qualité de ses observations ultérieures.

5.5.1.2. Quand doit-on appeler le médecin légiste ?

Dans le cas par exemple de l'homicide avéré alors que l'enquête judiciaire et les opérations de police technique et scientifique sont déclenchées, le médecin légiste doit être appelé (figure 11). A quel moment, faut-il le faire venir ? Il est difficile de répondre à cette question car il n'y a pas de consensus et cela dépend des situations. Dans certaines circonstances, le spécialiste de criminalistique répond que le gel des lieux prime et que l'abord du cadavre est secondaire, les indices fragiles, les traces et micro traces devant d'abord être préservées. A l'inverse, d'autres spécialistes considèrent que l'examen précoce du cadavre peut fournir rapidement des indices quant aux causes et aux circonstances du décès et qu'il s'agit de ne pas perdre de temps pour fournir ces informations à l'enquêteur. Nous privilégions cette deuxième option mais il s'agit dans ce cas de concilier l'action du médecin légiste avec la préservation de la scène de crime.

Figure 11 : Fiche réflexe du technicien de scène de crime ou de l'enquêteur pour l'appel du médecin légiste

Il est, en pratique possible, de proposer un véritable listing des cas où la présence d'un médecin légiste doit être un réflexe pour l'enquêteur et le technicien de scène de crime. Sans pouvoir être parfaitement exhaustif, on peut suggérer :

- homicide ou homicide suspecté ,
- mort soudaine, inexpliquée, y compris la mort subite du nourrisson,
- suspicion de torture ou de mauvais traitements,
- suicide ou suspicion de suicide,
- responsabilité médicale,
- accidents domestiques, de sport, de transport,
- accidents du travail,
- catastrophes technologiques ou naturelles,
- décès en garde à vue ou en prison,
- corps non identifiés.
- personnes connues, aspects sensationnels des faits («Major scènes» des anglo-saxons, problèmes avec les médias),
- décès multiples.
- identifier ou éliminer une arme potentielle.
- vérification des dires d'un suspect,
- reconstruction de la scène (compliquée à analyser ou à reconstruire quant aux événements) :
 - identification auteur/victime dans les scènes de type homicide suivi de suicide,
 - séquence d'événements avec activités prolongées dans le temps et/ou utilisation d'armes multiples,
- vérification des possibilités de mouvements ou d'actions effectués par la victime avant sa mort en tenant compte des blessures observées, des indices et des témoignages.

5.5.1.3. Questions à se poser avant toute manipulation du corps

Avant toute manipulation du corps, des questions doivent être posées par le médecin légiste.

- Dans quelles conditions la découverte du corps a-t-elle été faite ?
- Le corps a-t-il été bougé ? Pourquoi ?
- A-t-il eu des gestes de réanimation ?
- A quelle température étaient initialement les lieux ?
- La victime avait-elle des problèmes de santé ?

Les équipes de premiers secours ont la plupart du temps déjà quitté les lieux lorsque le médecin légiste se présente et c'est bien souvent l'enquêteur ou le technicien de scène de crime qui fournit les premières informations. Dans certains pays, des documents existent, remis par les forces de police ou fournis par les premiers secours, sur lesquels sont mentionnés les gestes effectués.

Guidage du technicien de scène de crime

En pratique, bien que toute standardisation soit difficile, le technicien de scène de crime peut guider le médecin légiste dans l'abord du corps en délimitant un itinéraire, dont il aura au préalable sauvegardé les traces en évitant les contaminations et les risques relatifs à l'hygiène et à la sécurité. Des dispositifs spéciaux (plateaux ou tapis) peuvent être déployés mais n'excluent en aucun cas la nécessité pour le médecin légiste d'être équipé (combinaison, gants, masques, sur-chaussures...).

Le médecin légiste doit être conscient du risque de déperdition des preuves. Il doit aussi conseiller les enquêteurs et les techniciens vis-à-vis des risques éventuels encourus sur les lieux.

Conseils

Avant toute manipulation du corps, il peut conseiller des prises de vues photographiques ou vidéo. Il doit examiner attentivement les vêtements, les plaies visibles, la forme et l'orientation des taches de sang, des écoulements. Il doit apprécier la position du corps et sa compatibilité avec l'aspect des vêtements, sa rigidité, les lividités, le degré de putréfaction. Un examen sous éclairage ultraviolet par le technicien de scène de crime, permet de repérer des taches de sperme sur le corps ou sur les vêtements. Le médecin légiste peut conseiller la réalisation de prélèvements sur les traces fragiles (sang, sperme, salive, vomissements, débris de peinture ou de verre présents sur le corps...).

La manipulation du corps ne commence que lorsque tous ces éléments ont été relevés, fixés, répertoriés ou prélevés.

5.5.1.4. Doit-on déshabiller un corps sur la scène de crime et si oui comment ?

Le corps peut éventuellement être déshabillé et examiné sur place. Cette notion ne peut faire l'objet d'un consensus. Elle est au contraire très critiquée s'il s'agit d'un homicide avéré ou fortement suspecté. S'il est vrai que les conditions d'équipement, d'éclairage, d'assistance, de confort sont bien meilleures en salle d'autopsie, en particulier si le cadavre est carbonisé ou putréfié, dans d'autres circonstances, un examen attentif sur place est important à la recherche de lésions et à leur examen si les circonstances du décès sont mal définies (suicide, accident, homicide, mort naturelle) (figure 12).

Figure 12 : l'examen du corps

Examen sur place

Si les conditions le permettent, le corps est examiné en place ou sinon à proximité, dans un endroit attenant. Il peut être examiné sur une housse plastifiée propre, préservant ainsi tout indice qui s'en détacherait. Les mains doivent être examinées attentivement et en collaboration avec le technicien de scène de crime, poils, fibres ou matières qui se détacheraient facilement des ongles sont prélevés. De même des tamponnoirs pour résidus de tirs peuvent être faits dès ce moment sur les mains ou les orifices supposés de projectiles. Les mains et les pieds doivent être emballés dans des sachets de papier avant transport du corps.

Etude des vêtements

L'étude des vêtements est un temps important de l'examen du corps. Le type de vêtements, leur agencement, les déchirures, les orifices doivent être repérés et inventoriés. Le technicien de scène de crime pourra utilement, à ce moment, prélever les poils ou fibres collés sur les vêtements à l'aide de rouleaux ou de feuilles d'adhésifs. Le conditionnement adapté des vêtements peut ensuite être réalisé. La qualité de ce conditionnement permettra des examens ultérieurs en laboratoire de criminalistique. La collecte systématique des vêtements pour le médecin légiste qui fera l'autopsie n'est pas toujours justifiée.

Recueil de traces et d'indices

Sur place, le corps peut être examiné sur toute sa surface et au niveau des orifices naturels. Toute trace de morsure, toute tache pouvant être évocatrice notamment de la présence de sperme, de salive, peuvent être écouvillonnées par le médecin légiste avant que le corps ne soit manipulé ou emballé pour le transport, ce qui évitera souillures et contaminations. Toutes les traces dites de défense, les signes dits de prise, les contusions, les plaies seront examinées puis photographiées par le technicien en plans d'ensemble et rapprochés (avec échelle métrique et numérotation) selon les conseils du médecin légiste. C'est un temps primordial de l'examen, car c'est à ce moment que le médecin légiste est le plus à même et le plus compétent techniquement pour faire le lien éventuel entre une lésion, la position du corps et l'environnement, qu'il s'agisse d'un objet, d'un autre individu ou de traces.

Estimation du délai post mortem

Plus la prise en compte de paramètres utiles à l'estimation du délai post mortem sera précoce, meilleure sera la réponse. Pour ne parler que des critères les plus classiques, l'évaluation du degré de putréfaction, de la rigidité, des lividités, l'aspect des globes oculaires, la mesure de la température corporelle, le prélèvement d'humeur vitrée sont des actes médico-légaux.

Etude des caractéristiques

L'identification certaine d'un cadavre est indispensable pour l'enquête, elle doit donc être faite rapidement mais elle n'est pas toujours aisée et tout indice peut être utile. Lors de l'examen du corps, le médecin légiste peut repérer des caractéristiques morphologiques ou pathologiques, des cicatrices, des malformations, des tatouages. Tous ces éléments doivent être photographiés. Il en est de même pour le visage de face et sur les deux profils lorsque cela est possible. La présence du médecin légiste est aussi fortement utile lors de la découverte de restes osseux, de corps carbonisés ou disloqués car il est le plus à même de différencier ce qui est un reste humain de ce qui ne l'est pas.

5.5.1.5. Transport du cadavre de la scène de crime à la morgue

L'examen du corps étant terminé, celui-ci peut être évacué vers la morgue. Aidé du technicien de scène de crime, le médecin légiste veille aux conditions de transport du corps. Il vérifie également l'emplacement initial du cadavre à la recherche d'indices qui ne seraient pas immédiatement apparents, cachés par exemple dans des débris divers comme de la terre, de l'herbe, une flaque de sang...

5.5.1.6. Compte rendu du médecin légiste au directeur d'enquête

Les opérations de police technique et scientifique peuvent se poursuivre et le médecin légiste doit s'entretenir avec le responsable criminalistique de la scène et avec le directeur d'enquête. Il peut fournir un compte-rendu oral et/ou un rapport écrit de levée de corps dans lesquels il mentionne ses constatations et les hypothèses prudentes et réservées quant aux causes et aux circonstances possibles du décès.

Les dires du médecin légiste à ce moment peuvent s'avérer particulièrement importants et réorienter dans certains cas l'enquête, les priorités à donner à la recherche d'indices et aux prélèvements à effectuer et au recours éventuel à des spécialistes dans différents domaines de la criminalistique.

Par la suite, après l'autopsie, le médecin légiste, en vue de vérifier ou d'étayer certaines hypothèses peut être amené à retourner sur les lieux ou à confronter ces observations et hypothèses avec celles formulées par les techniciens de scène de crime.

5.5.2. Le balisticien

L'identification d'une arme, de son fonctionnement, l'identification d'un projectile sont le quotidien d'un balisticien. Sur une scène de crime, il peut retrouver des projectiles, déterminer des orifices d'entrée et de sortie, étudier des angles d'impact et des trajectoires, un nombre et une séquence de tirs, un enchaînement d'évènements par exemple (voir le chapitre 12 « Balistique »).

5.5.3. L'expert en traces de sang

La localisation des traces de sang, leur étendue, leur forme, la direction des écoulements sur le corps et dans l'environnement sont importantes à prendre en compte (voir chapitre 9 « microsattelites »).

La morpho-analyse des traces de sang peut permettre de déterminer :

- le scénario le plus probable des évènements sanglants ;
- la distance entre les points d'impacts visibles et le ou les points origines de projection ;
- la nature de l'arme utilisée ;
- le nombre approximatif de coups portés lors des faits ;
- la position relative de la victime, de l'auteur et de tout autre objet spécifique dans la scène ;
- les mouvements de la victime et de l'agresseur ;
- la chronologie des faits ;
- la confrontation des déclarations des suspects et des témoins.

En collaboration avec le médecin légiste, des corrélations avec l'aspect des blessures constitueront une source irremplaçable d'informations.

5.5.4. L'expert en incendie

L'incendie est un acte criminel fréquent. Il peut être un moyen efficace de faire disparaître des traces. Comment un incendie a-t-il été provoqué ? A quel endroit a-t-il débuté ? Toutes ces questions peuvent nécessiter la venue d'un spécialiste sur place (voir chapitre 10 « Incendie »).

5.5.5. Le spécialiste en accidentologie

Un véhicule peut être une arme. Dans de nombreuses affaires, des véhicules impliqués sont possiblement identifiables grâce à des éléments présents sur les lieux (fragments d'optique, de peintures, traces de pneus...). Lors d'accidents de circulation, il est parfois difficile de dire qui était conducteur, passager ou piéton. L'état d'un corps, l'aspect d'un véhicule, l'ensemble des traces sur les lieux peuvent fournir des informations sur les causes et les circonstances des accidents.

5.6. La mission du gestionnaire après la libération de la scène de crime

5.6.1. Les scellés

La levée de la scène de crime correspond à la fin des opérations. Les lieux, les objets, le corps, tous les prélèvements effectués ont été mis sous scellés.

L'inventaire et le conditionnement soumis à scellés sont importants. Ils doivent garantir une traçabilité sans faille.

5.6.2. Le procès-verbal de transport

Le gestionnaire doit également établir le procès-verbal de transport, constatations et mesures prises. Ce document joint aux procès-verbaux d'investigation est une pièce importante pour l'enquête et pour le magistrat chargé de l'affaire. Il doit comporter les éléments suivants :

- circonstances de la saisine ;
- étude de l'environnement,
- éléments de fixation de l'état des lieux (plans, film, croquis, photographies) ;
- constatations effectuées ;
- inventaire des pièces à convictions ;
- hypothèses ;
- synthèse.

6. La coordination des opérations de criminalistique et la synthèse de la scène de crime

6.1. Stratégie et perspectives

Certaines scènes de crime peuvent être complexes, multiples, spécifiques de par leur importance ou à cause des lieux où elles se déroulent. Il faut faire face à la présence de nombreux intervenants, à des possibilités scientifiques multiples, coûteuses, engendrant une quantité importante de scellés. On peut aboutir à une véritable dissociation des aspects scientifiques et traditionnels de l'enquête par la dispersion des compétences mises en œuvre qu'il s'agisse des enquêteurs, des techniciens, des experts publics ou privés.

Il s'ensuit qu'une bonne pratique de la criminalistique exige de déterminer les moyens à engager, de coordonner des moyens complémentaires, au plus proche de l'enquête et dans la durée. Les constatations sur la scène de crime ne consistent plus seulement en un gel des lieux suivi de la recherche et du prélèvement de traces. Il faut définir un niveau d'engagement et des priorités.

Le directeur d'enquête aidé d'un directeur opérationnel chargé du soutien logistique ne peut plus se contenter en matière de criminalistique d'un simple gestionnaire, la plupart du temps désigné parmi les techniciens de scène de crime.

La coordination des opérations de criminalistique devient un véritable métier qui renforce le binôme directeur d'enquête et directeur des opérations. Son objet sur la scène de crime est de définir le niveau d'engagement, les priorités, une stratégie évolutive et par la suite d'assurer un processus itératif d'interprétation et d'adaptation tout au long du processus d'enquête. Le travail de coordinateur se matérialise par un rapport de synthèse des opérations de criminalistique, véritable pièce de procédure.

6.2. Le pré-requis de la coordination des opérations

Coordonner les opérations de criminalistique, c'est posséder un niveau technique et une expérience, qui permettent d'agir à trois niveaux :

6.2.1. Premier niveau

Gestion des activités forensiques sur une affaire grave ou complexe et suivi des investigations criminalistiques depuis la prise en compte de la scène d'infraction jusqu'à la phase de jugement :

- établir d'emblée une liaison durable avec le directeur d'enquête ;
- prendre en compte à son niveau et contrôler la ou les scènes d'infraction ;

- évaluer les risques pour le personnel ;
- élaborer les hypothèses de travail et les confronter avec les hypothèses du directeur d'enquête ;
- conseiller le directeur d'enquête sur le renfort nécessaire d'experts ;
- arrêter, en liaison avec le directeur d'enquête, la stratégie de traitement de la ou des scènes d'infraction ;
- désigner les gestionnaires en cas de scènes multiples ;
- répartir les techniciens et les missions ;
- définir les protocoles d'intervention à mettre en place ;
- coordonner et cadencer le traitement de la scène d'infraction ;
- utiliser des techniques et des protocoles validés ;
- se préparer au développement d'autres scènes d'infraction ;
- préparer l'intervention du médecin légiste ;
- réaliser la synthèse de chaque scène d'infraction ;
- élaborer la documentation et superviser les actes de procédure liés aux opérations de police technique et scientifique ;
- conseiller le directeur d'enquête dans la préparation des perquisitions et des auditions ;
- procéder à la levée de la scène de crime ;
- procéder à une critique du raisonnement et de l'intervention avec le directeur d'enquête ;
- définir les objectifs en matière d'expertise ;
- conseiller le magistrat saisi et les enquêteurs sur le choix des laboratoires ;
- élaborer ou aider à l'élaboration des demandes d'analyses à destination des laboratoires ;
- permettre l'acheminement des indices vers le laboratoire ;
- veiller au transport, à l'intégrité et au conditionnement des indices ;
- assurer la traçabilité des indices et effectuer le contrôle de légalité des actes réalisés ;
- assurer le suivi des résultats de l'examen des indices ;
- analyser et interpréter les premiers résultats d'expertise obtenus, demander des compléments d'analyse ;
- réaliser une synthèse des opérations de criminalistique ;
- témoigner en qualité de sachant lors de la phase jugement.

6.2.2. Deuxième niveau

Animation et rapprochement des activités criminalistiques sur une pluralité d'affaires de délinquance de masse :

- animer l'action des unités élémentaires sur des phénomènes simples de délinquance identifiés (délinquance de masse) ;
- assurer la direction et la coordination des opérations criminalistiques sur des phénomènes complexes de délinquance, identifiés (raids, cambriolages...) ;
- animer et coordonner, entre différentes unités de police technique et scientifique, l'exécution, le prélèvement, la traçabilité des investigations criminalistiques qui peuvent être rapprochées par rapport :
 - au mode opératoire ;
 - à la localisation géographique ;
 - au type d'infraction (vol avec effraction, vol de véhicules...) ;
- effectuer les rapprochements entre les indices relevés sur les différentes scènes d'infraction.

6.2.3. Troisième niveau

Animation et coordination des actions de police technique et scientifique sur une zone géographique :

- contrôler et orienter le travail des techniciens ;
- suivre la délinquance de masse et veiller à la réalisation des actes techniques d'investigation ;
- suivre l'action et la motivation des techniciens ;

- suivre la formation des techniciens ;
- suivre la remontée des informations sur les signalements des auteurs, les traces et indices relevés ;
- suivre l'état des moyens de police technique et scientifique dans les unités ;
- mettre en place des protocoles validés d'intervention au profit des unités dans les domaines suivants :
 - contrôle de la scène (témoins, véhicules, secours...) en y intégrant les actes des services de secours ;
 - protection de la scène de crime et des indices visibles ;
 - registre de scène d'infraction ;
 - élaboration de fiches réflexes ;
 - gestion, conservation et traçabilité des indices ;
- initier des retours d'expérience et des journées communes d'information et de formation.
- Interlocuteur de haut niveau de l'enquêteur et du magistrat, le coordinateur des opérations de criminalistique est le point de convergence technique des données criminalistiques d'une enquête ; le relais entre le milieu des sciences forensiques et le monde des enquêteurs. Une formation dédiée est nécessaire pour que ce personnage de coordinateur voie le jour et soit reconnu comme tel.

7. Contextes particuliers (terrorisme, catastrophes de masse)

Une catastrophe est un accident causant la mort de nombreuses personnes. Une catastrophe peut être naturelle, accidentelle ou plus rarement résulter d'un acte criminel, terroriste (voir chapitre 14). Une enquête est alors le plus souvent diligentée. Elle peut revêtir plusieurs aspects : enquête technique, enquête administrative, enquête judiciaire. L'identification des victimes s'effectue souvent dans un cadre judiciaire. Il s'agit pour le magistrat de disposer des éléments nécessaires à l'établissement formel de l'identité des personnes décédées.

Le contexte est délicat à gérer. Le caractère imprévu de l'accident, le nombre élevé de victimes, la charge émotionnelle collective, la présence de nombreux intervenants (secours aux blessés, enquêteurs, responsables du maintien de l'ordre, journalistes...), la pression exercée sur les magistrats et les enquêteurs (familles, journalistes, autorités...) font que l'identification des victimes est une opération délicate, pluridisciplinaire qui doit être organisée avec soin, s'appuyer sur une méthode éprouvée et être effectuée par des équipes spécialisées.

7.1. Les différentes phases du processus d'identification

Une équipe d'identification se compose d'un échelon de commandement, des unités d'identification et d'une équipe de relevage.

L'échelon commandement a plusieurs objectifs :

- prendre le temps d'organiser et de participer à une réunion préparatoire avec les autorités concernées. En effet, les objectifs, la méthodologie, les moyens nécessaires à la récupération des corps sont inconnus ou mal compris des acteurs locaux ;
- évaluer la durée du processus ;
- assurer la coordination des équipes d'identification (Ante mortem/Post mortem) ;
- rester en liaison étroite avec les différents responsables ;
- renseigner régulièrement les magistrats.

Le processus d'identification (figure 13) comporte quatre phases :

- le relevage des corps,
- la collecte des données ante-mortem,
- l'examen des corps et la collecte des données post mortem,
- la confrontation des données ante mortem et post mortem pour prononcer les identifications.

Seule la phase de recueil des corps, « phase de relevage », est développée ci-après.

Phase de relevage

Un élément dit précurseur de l'équipe d'identification doit être présent dès que possible sur les lieux pour une évaluation. S'il est réalisable, le « gel des lieux » est assuré avant son arrivée.

Cette équipe étudiera plus particulièrement les points suivants :

- l'étendue de la scène ;
- l'état des corps ;
- la durée estimée du processus ;
- les capacités médico-légales locales, voire à distance de la scène de crime ;
- la prévision des moyens à mettre en œuvre pour le stockage des corps ou leur transport éventuel vers une structure médico-légale plus adaptée ;
- la possibilité de mise en place d'un équipement spécialisé sur les lieux ;
- la méthodologie de récupération des corps tenant compte de la nature de l'environnement (équipement, composition et nombre d'équipes),

Tant que les moyens de transports, la zone de réception et les systèmes de conservation du froid ne sont pas en place, les corps ne doivent pas être mobilisés.

La phase de relevage nécessite un plan de recherche adapté au terrain. Il faut contrôler les accès du site et veiller au mieux à ce que les restes humains et les objets ne soient pas retirés ou déplacés inopportunément.

Les équipes de relevage doivent disposer en quantité suffisante de moyens de marquage des corps, de sacs, d'étiquettes... Elles établissent un schéma localisant les corps, les fragments de corps et les objets personnels ou indices divers. Restes humains et effets personnels sont mis dans les mêmes sacs lorsqu'ils sont en connexion. A l'inverse les fragments de corps ou les objets et indices non rattachables à un corps sont mis dans des sacs séparés. Il faut photographier et documenter tout ce qui est constaté.

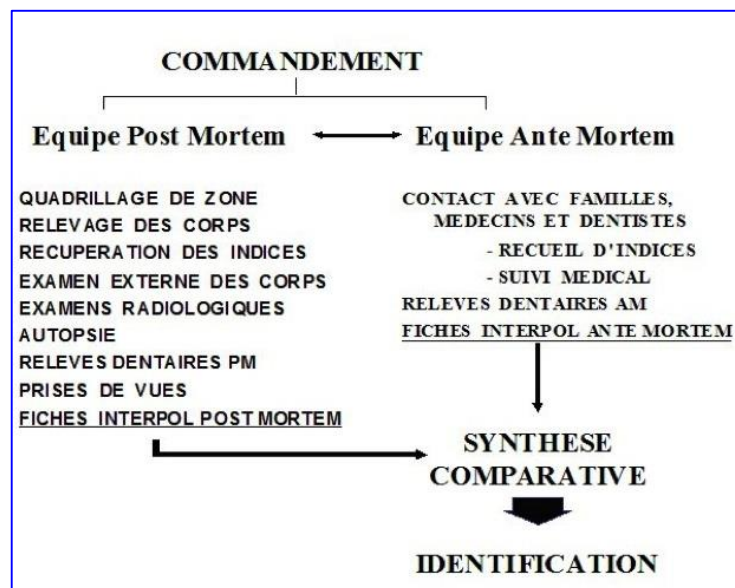


Figure 13 : Processus d'identification

L'intégration des médecins légistes dans les plans d'urgence apparaît importante pour élaborer dans les meilleures conditions, la phase de relevage des corps dès le début de la catastrophe lors des secours aux blessés. Ils donneront des conseils utiles pour prendre en charge les corps, participeront au relevage lui-même en préservant les éléments d'identification et à l'établissement d'une liste des disparus en aidant notamment à compter les corps, à identifier et localiser les blessés répartis dans différents hôpitaux. Ils fourniront ainsi un soutien technique mais aussi psychologique.

Le concept de triage des corps sur site a été envisagé dans certaines catastrophes. Son objectif est de différencier les corps ou parties de corps du milieu environnant, de les trier en fonction de leur état de dégradation, en vue de traiter d'abord les cas les plus simples, et prendre en compte l'hypothèse d'une diffusion de contamination.

Différentes situations s'observent selon l'importance et la nature de la catastrophe. Si les infrastructures locales sont en place ou aisément réparables, un processus complet d'identification peut être mis en œuvre immédiatement. En revanche, si elles sont détruites, les éléments d'identification devront être préservés pour un usage ultérieur et les corps seront alors étiquetés et entreposés par exemple dans des fosses communes temporaires.

7.2. Les particularités liées à un attentat

Un attentat peut causer de très nombreuses victimes et des dégâts matériels importants. La priorité immédiate est évidemment le secours aux victimes vivantes mais parallèlement l'enquête judiciaire et l'exercice de la police administrative doivent débiter.

Les décisions prises et les actions menées dans les premières heures qui suivent conditionnent la réussite de l'enquête et l'efficacité des actes ultérieurs de police technique et scientifique. Le processus d'identification des corps s'exerce donc dans un contexte particulier.

7.2.1. Rôle des premiers intervenants

Le rôle des premiers intervenants policiers ou gendarmes est primordial. Il faut évaluer l'ampleur des dégâts matériels, « fixer » la situation par photographies et films, maintenir sur place dans la mesure du possible les victimes impliquées dans l'attentat mais indemnes afin qu'elles puissent être mises à disposition des enquêteurs.

Leur rôle est aussi de canaliser les déplacements des secours sur les lieux, en particulier, en interdisant la manipulation des corps des victimes, le déplacement des objets ou effets personnels voisins et en veillant à ce que les secours empruntent des chemins balisés pour pénétrer et sortir du site.

Il s'agit également pour les premiers intervenants d'avoir en permanence à l'esprit le risque du « sur attentat » et de considérer que parmi les badauds ou les survivants peuvent se trouver des terroristes ou leurs complices.

Afin de garantir un maximum de succès aux opérations, le gel des lieux est assuré au plus large, incluant les débris les plus éloignés du site, notamment en cas d'attentat à l'explosif ou chimique. Il faut établir un quadrillage du site ménageant des couloirs de circulation.

7.2.2. Poste de suivi des évacuations

Dans l'organisation des opérations, un poste de suivi des évacuations est prévu pour identifier toutes les victimes dont les survivantes sont autant de témoins de premier ordre.

7.2.3. Poste de commandement « Enquête »

Un poste de commandement «enquête» a trois dominantes, l'enquête proprement dite, l'état des lieux et l'identification des victimes.

Afin d'accélérer le travail d'identification, les corps et parties de corps sur le site de l'attentat sont sommairement examinés avec l'aide des médecins légistes. Ce travail s'effectue en parfaite coordination avec les opérations de police technique et scientifique. Au centre médico-légal, lors de l'examen des corps, les éléments susceptibles d'intéresser l'enquête tels que débris ou documents sont codifiés et transmis aux enquêteurs.

7.2.4. Les principes de base

A l'inverse des autres catastrophes, lors des attentats, la progression rapide de l'enquête est primordiale. Par conséquent, les opérations d'identification sont une urgence.

Examens des corps mutilés

Les équipes médico-légales doivent être en nombre conséquent et commencer par les corps les plus mutilés susceptibles pour certains de correspondre aux responsables des faits.

Examen des vêtements

Les vêtements doivent donc être conservés avec précaution car leur examen peut se révéler important, en particulier au niveau des zones de brûlures, de déchirures, de déposition de fumées ou de poudre indiquant la localisation du corps par rapport à la bombe.

Description détaillée des blessures

La documentation des blessures lors de l'autopsie est impérative et doit s'accompagner de photographies. Tout corps étranger retrouvé sur ou dans le corps doit être conservé.

Individualiser précisément le couple Site/Victime

Si les corps proviennent de sites différents, il faudra veiller à maintenir la séparation de l'examen des corps et l'identification entre chaque site, et ce, pendant tout le processus d'enquête, imposant de disposer de locaux vastes et aménageables. Dans ce cas, l'institut médico-légal local n'est pas forcément la structure la plus adaptée.

Cas particulier NRBC

Enfin la gestion des corps en cas de risque NRBC (nucléaire, radiologique, bactériologique et chimique) n'a pas fait l'objet de protocoles validés (voir chapitre 14 « NRBC »). Le diagnostic, les risques, la conduite à tenir, les moyens de protection et les problèmes de santé publique sont peu connus des acteurs de santé. Il est alors nécessaire de faire appel à des unités spécialisées pour mettre en place les protocoles et les moyens nécessaires avant que les équipes dédiées à l'identification puissent intervenir.

8. Assurance qualité et scène de crime

Comme dans bien d'autres domaines scientifiques et techniques, la reconnaissance par une tierce partie de la compétence technique des acteurs du processus criminalistique s'impose. Le concept d'assurance qualité déborde largement la scène de crime car la démarche est applicable à différentes prestations (actes de police technique et scientifique, travaux en laboratoire, déposition devant une juridiction...) donc depuis la scène de crime jusqu'à la présentation écrite ou orale des preuves devant une juridiction.

8.1. Besoins des magistrats et des enquêteurs

Formulés de façon implicite ou imposés, les attentes sont de bénéficier de résultats fiables, interprétés, clairs par rapport à la mission confiée, et réalisés par un personnel compétent dans un délai et avec un coût acceptable ou défini.

Les acteurs de la criminalistique devront quant à eux :

- identifier les risques de non-qualité ;
- prévenir l'apparition des risques par l'établissement de procédures appropriées :
 - comment éviter les contaminations (mesure de protection...) ?

- comment détecter, prélever, préserver et conditionner ?
- comment identifier et documenter ?
- comment transporter ?
- prévoir des modes d'enregistrement afin de démontrer l'application effective des procédures

8.2. Les normes en vigueur

Alors que la norme ISO 17025 s'applique au management des laboratoires de criminalistique, les travaux menés actuellement par l'ENFSI (european network of forensic sciences institutes) conduisent à privilégier la norme **EN ISO/IEC 17020** pour la gestion de la scène de crime. Cette norme générale a pour objectif de promouvoir la confiance dans la façon d'effectuer les inspections. Elle décrit les exigences générales que doit appliquer un organisme pour être reconnu au niveau national et européen comme compétent et fiable pour pouvoir inspecter des produits, services, processus ou installations.

Parmi les critères et exigences de la norme, on trouve les points suivants :

- organisation, management et système qualité ;
- prescriptions relatives à l'indépendance et à l'impartialité ;
- prescriptions techniques relatives au personnel (compétence, formation) ;
- prescriptions concernant les installations et les équipements ;
- prescriptions relatives aux méthodologies d'inspection...

8.3. Protocole ENFSI

L'ENFSI a également publié sous couvert de son groupe de travail sur l'assurance qualité (« ENFSI QCC Competence Assurance Project (CAP) Group ») des protocoles pour les spécialistes en criminalistique (Performance Based Standards for Forensic Science Practitioners).

Ces protocoles présentés sous forme de listes d'actions «standards» couvrent l'ensemble du processus criminalistique depuis le premier intervenant jusqu'à la rédaction du rapport d'expert en passant par l'examen de la scène de crime, la collecte des traces et indices, le travail en laboratoire. Il ne s'agit pas de prescriptions mais de recommandations.

9. Conclusion

La scène de crime est au cœur de la criminalistique. Le temps est loin où la police technique, activité foraine, était séparée de la police scientifique, art exercé dans des laboratoires par des experts. Le concept actuel est celui d'équipes multidisciplinaires réalisant des actes criminalistiques, scientifiques et techniques en relation étroite avec les laboratoires « forensiques ».

Une gestion scientifique de la scène de crime est donc désormais un processus incontournable exigeant un parcours qualitatif de l'administration de la preuve afin qu'elle puisse être discutée mais ne jamais être remise en question.

Les maîtres mots en matière de gestion de scène de crime sont rationalisation des moyens, responsabilisation des intervenants, contrôle du traitement forensique et rigueur. Même si la scène de crime est encore le maillon faible de la chaîne criminalistique en raison de sa dimension fortuite et du facteur humain omniprésent, la qualité des intervenants doit permettre de garantir l'intégrité de la preuve.

10. Bibliographie

- 1) Bevel T., Applying the Scientific Method to Crime Scene Reconstruction, *Journal of Forensic Identification* 51(2): 150-162, 2001.
- 2) Crispino F, « Le principe de Locard est-il scientifique ? Ou analyse de la scientificité des principes fondamentaux de la criminalistique », thèse de doctorat, Institut de police scientifique de l'Université de Lausanne, 2006.
http://www.unil.ch/esc/files/live/sites/esc/files/shared/These_Crispino1.pdf
- 3) Eco U, Sebeok TA. *The Sign of Three*, Dupin, Holmes, Peirce. Indiana University Press. USA, 1983.
<http://is.cuni.cz/studium/predmety/index.php?do=download&did=40370&kod=YMM025>
- 4) Eckert WG. *Introduction to forensic sciences*. 2nd edition, CRC Press, 1992.
http://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=n_sqBeGvb2sC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Eckert+WG.+Introduction+to+forensic+sciences.+2nd+edition,+CRC+Press,+1992.&ots=cSgxF4A-4i&sig=GQy8hp8j7M9OD1Z9PGldcW7k5V0#v=onepage&q&f=false
- 5) Gallusser A : "L'indice matériel comme moyen de preuve. Sa valeur et son utilisation par les magistrats", Thèse de Doctorat, Institut de Sciences Criminelles, Université de LAUSANNE. 1998.
- 6) George C. *Polymorphisme du raisonnement humain, une approche de la flexibilité de l'activité inférentielle*. Presses Universitaires de France, 1997.
- 7) Girod A, Champod C, Ribaux O. *Traces de souliers*, Presses polytechniques et universitaires romandes, collection sciences forensiques. 2008.
<http://www.ppur.org/produit/484/9782880747046/Traces%20de%20souliers%20>
- 8) Hadley K, Feredy MJ, *Ensuring Competent Performance in Forensic Practice, Recovery, Analysis, Interpretation and Reporting*. CRC Press, 2008
- 9) Inman K, Rudin N, *Principles and Practice of Criminalistics - The Profession of Forensic Science*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2001.
<https://books.google.fr/books?id=6OTqqqGoocC&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Norah+Rudin%22&hl=fr&sa=X&ei=vKDwVOG0BofraL3LgrAP&ved=0CCAQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false>
- 10) Kirk P. *Crime investigation*, 2nd edition, Wiley & Sons, New York, 1974.
- 11) Locard E. *L'enquête criminelle et les méthodes scientifiques*, Flammarion, PARIS, 300 p., 1920.
<http://www.worldcat.org/title/enquete-criminelle-et-les-methodes-scientifiques/odc/492170834?referer=di&ht=edition>
- Paolaggi JB, Coste J. *Le raisonnement médical, de la science à la pratique clinique*, Editions Estem, Paris, 2001.
- 12) Peirce CS. *Le raisonnement et la logique des choses, les conférences de Cambridge*, Passages, Les Editions du Cerf, Paris, 1995.
http://www.editionsducerf.fr/html/fiche/fichelivre.asp?n_liv_cerf=4668
- 13) Ribaux O, Walsh SJ, Margot P. *The Contribution of Forensic Sciences to Crime Analysis and Investigation : Forensic Intelligence*. *Forensic Science International*. 2006, 156, pp. 171-181.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.136.939&rep=rep1&type=pdf>
- 14) Robertson B, Vignaux BA. *Interpreting Evidence. Evaluating Forensic Science in the Courtroom*, John Wiley & Sons Inc. New York NY, USA. 1995.
- 15) Saferstein R. *Forensic Science Handbook, volumes I & II*, Prentice Hall, Engelwood Cliffs, New Jersey, 1988.
http://books.google.fr/books/about/Forensic_science_handbook.html?id=LldqAAAAMAAJ&redir_esc=y
- 16) Servettaz J. *Le coordonnateur des opérations de criminalistique*. *Revue de la Gendarmerie Nationale*, N° 216, 3^{ème} trimestre 2005, 31-41.
- 17) Tuthill H. *Individualization : Principles and Procedures in Criminalistics*. Lightning Powder Company, Inc., SALEM, OREGON. 1994.



Laboratoire mobile de l'IRCGN

Chapitre 3. Rôle et limites de la trace en police scientifique

Ivan Ricordel

1. Introduction

Le mot trace est intimement lié à l'activité de la police scientifique et à la science forensique¹, l'emploi de ce mot 94 fois au chapitre précédent sur la gestion de scène de crime, 202 et 54 fois respectivement aux chapitre 8 sur les empreintes digitales et au chapitre 9 sur les empreintes génétiques en est un témoignage. Il rivalise avec le mot indice cependant moins employé (respectivement 72, 5 et 12 fois dans les chapitres cités précédemment). Il est vrai que le premier ne devient pas systématiquement le second.

A propos du respect que doit inspirer la trace, Pierre Margot, s'exprime ainsi « *la raison d'être de la police scientifique et des moyens d'investigation scientifique qu'offre la science forensique provient de la trace et de son étude et que tout ce qui fait la richesse de cette étude butte sur une absence de définition et de formalisme dont la langue s'est accommodée par l'usage et le sens commun* » [1]. Cette absence de rigueur sémantique qui fait, comme le précise le directeur de l'Institut de Police scientifique de Lausanne, dans ce même article, que : « *se voient confondues comme synonymes des notions dont les nuances sont essentielles pour le spécialiste des traces : traces, signes, indices, empreintes* », tant par le grand public que par certains professionnels pour lesquels le mot revêt parfois des « *significations restrictives divergentes et qui ne voient pas la trace comme vecteur transversal de connaissance, mais plutôt comme un problème technique ou analytique à résoudre en laissant implicites les dimensions fondamentales de l'idée de « trace » et de son potentiel* ».

Ce chapitre s'efforce, à l'instar de ce que Pierre Margot propose dans son article², eu égard à une expérience accomplie dans ce domaine, de lever certaines incertitudes de vocabulaire afin que le lectorat que nous identifions dans notre préface puisse appréhender ce mot clé essentiel de « trace » au sein d'une terminologie spécifique dans tout son sens expertal et seulement dans celui-ci.

2. La trace, définition

Le dictionnaire Littré [2] donne diverses acceptions au mot trace : c'est d'abord le « vestige qu'un homme ou un animal laisse à l'endroit où il est passé » ce sens donné à partir du 14^{ème} siècle fut suivi de nombreux autres. C'est aussi « l'exemple à suivre », ou « la marque, l'impression que laisse un chariot, un carrosse » ou « toute marque laissée par une chose » illustrés par de nombreux exemples comme : « il porte sur son visage la trace de longues souffrances » ou « qu'on remue ces ruines, on trouvera dans les restes de ce bâtiment renversé et les traces de ses fondations et l'idée du premier dessin (Bossuet) » c'est le sens des

¹ Du lat. forum, place publique et lieu de jugement dans l'antiquité. Science au service des tribunaux.

² La qualité et la hauteur de vue de cet article nous ont conduits à en faire la base et le fil directeur de ce chapitre. Pierre Margot est directeur de l'Institut de police scientifique et de criminologie (IPSC) et Vice-Doyen de la Faculté de droit et des sciences criminelles à l'Université de Lausanne (Suisse). Reconnu internationalement pour ses travaux sur le relevé des empreintes digitales, il reçut la plus haute distinction scientifique dans ce domaine en 2011, la médaille Douglas pour son rôle de pionnier. Son enseignement et ses conseils en criminalistique sont convoités dans le monde entier. Docteur honoris causa de l'université de Québec en 2013, il a été intronisé en 2014 au panthéon francophone de la criminalistique de l'association québécoise de criminalistique au côté d'Edmond Locard, d'Adolphe Reiss et de Wilfrid Derome. La même année, la John A. Memorial award Dandero de l'association internationale pour l'identification, le distingue par le prix annuel qui honore un savant pour ses contributions importantes à la profession.

traces archéologiques témoignant de civilisations anciennes. Littré donne huit autres sens différents : « Impression que les objets font dans l'esprit, dans la mémoire. Cette aventure a laissé des traces profondes dans mon esprit, dans ma mémoire. » ; « Tout ce qui sert à laisser une marque, une impression ; On vit François et Paule traverser toute la Sicile, laissant partout des traces d'une charité bienfaisante. (Fléchier) » ; « ligne que l'on fait sur le terrain pour un dessin, un plan etc. Faire la trace d'un parterre. » ; En géométrie descriptive, « les traces d'un plan, d'une droite sont les lignes, les points suivant lesquels ce plan, cette droite coupe les plans de projection. » ; La trace est aussi l'ensemble des « premiers points et traits pour marquer le contour d'un ouvrage (dentelle d'Alençon) » ; « La trace d'un filon est la petite fente qui se conserve dans l'amincissement ou l'étranglement du filon et sert à le retrouver ». C'est aussi un terme vétérinaire « la trace de balzane, tâche blanche peu étendue sur la couronne d'un cheval » ; le sens plus ancien est celui de son emploi d'origine remontant au XII^{ème} Siècle : « voie, chemin suivi. Les deux nonnains oublièrent la trace du cabinet (Lafontaine) ».

Le « Littré » reste une référence du 19^{ème} siècle même dans ses éditions ultérieures. Le mot cependant revêt des acceptions modernes dans plusieurs domaines. C'est le cas en linguistique avec la **théorie des traces** [3] qui concerne en grammaire, les transformations de mouvement dans une phrase. Avec le développement de la chimie d'autres définitions sont apparues intégrant le concept de faibles quantités. Est apparue la notion d'éléments traces, c'est-à-dire dans un premier temps en géochimie, pour nommer les impuretés élémentaires présentes en faibles quantités dans les minéraux qui par la suite ont bénéficié d'une abondante synonymie (éléments en traces, oligoéléments, éléments rares, dispersés, mineurs...). Puis, la notion de proximité du seuil de détection des appareils de mesure a supporté ce concept de trace quantitative en lui donnant un caractère variable supplémentaire compte tenu de la fulgurance des progrès des moyens analytiques. Ce type de résultats « sans dimensions » qui signait l'incompétence des analystes à dire mieux, a fait, en deux décennies, passer la trace de 10⁻⁶ grammes à 10⁻²¹ g indiquant ainsi que la même entité trace avait réduit son espace d'un million de milliards de fois (10¹⁵ fois). Cette quantité peut n'avoir aucune signification particulière. Le chimiste ne fait que mentionner en fin de rapport une information généralement non prise en compte après une série de chiffres significatifs ... et des traces de ... En revanche, l'expert toxicologue par exemple, peut en faire grand cas car elle peut signer la présence d'une impureté toxique dans un médicament, ou le témoignage, dans un milieu biologique, d'une substance qui même non quantifiable n'a pas lieu de s'y trouver.

En fait, cette difficulté sémantique impose de « tracer » en police scientifique un périmètre large (nous avons indiqué ci-dessus l'altération profonde du sens que la notion de taille lui confèrait) mais bien défini de la trace. Le caractère accessoire voire inopportun de la trace du chimiste doit faire place au caractère exclusif de sa recherche exhaustive qui constitue la pierre angulaire de l'activité de l'expert en police scientifique. Qu'elle soit la conséquence d'un acte volontaire ou le plus souvent inconscient³, cette trace existe par elle-même et revêt une signification quelle qu'elle soit physiquement et dans sa nature (marque, empreinte, particule, son, image...). Sa préservation est essentielle tant au moment de sa mise en évidence que lors de son analyse qui requiert impérativement l'emploi de méthodes conservant au maximum son intégrité. Il doit toujours être possible de la réexaminer. L'expert est aussi confronté à cette trace qu'Emile Littré définit comme « impression que les objets font dans l'esprit dans la mémoire » car il est en prise avec le témoignage dont l'analyse est plus délicate que celle de la trace matérielle.

Pierre Margot écrit [1]. « *La trace s'apparente donc à une mémoire matérielle ou immatérielle et sert à se prémunir contre l'oubli. Une notion fondamentale est donc immédiatement associée à la trace : le temps qui passe et la destruction inéluctable de ce témoin du passé. Du fait de l'asymétrie du temps, il est impossible de revenir en arrière, la trace n'est qu'un reste imparfait, incomplet dont la qualité s'amenuise encore avec le temps* ». Nous reprendrons la définition qu'il donne de la trace matérielle.

³ Le criminel laisse les traces de son passage ou de son action à un endroit où elles ne devraient pas être ! [1].

« *J'ai enquêté sur beaucoup de crimes, mais je n'en ai encore jamais vu qui eussent été commis par une créature ailée. Du moment que le criminel se déplace sur ses deux pieds, il y a toujours un foulage, une dentelure, une éraflure, une modification minime de l'état du sol que le chercheur scientifique peut détecter* »

Sherlock Holmes, Peter le Noir, Sir Arthur Conan Doyle.

La trace matérielle est donc :

Une marque (trace d'étranglement), un signal (tache de sang, trace de pas, bruit dans un enregistrement) ou un objet (cheveu, résidu sous des ongles, douille de balle...). La trace est un signe apparent (pas toujours visible à l'œil nu comme la trace métabolique du passage d'un toxique dans l'organisme...). Elle est le « vestige » d'une présence et/ou d'une action.

Enseignements déductibles de cette acception du mot trace :

Elle doit être préservée et identifiée comme liée directement ou indirectement ou totalement indépendante de l'événement qui a motivé l'expertise policière. Il s'ensuit que dans un cadre de scène de crime le problème majeur auquel est confronté l'expert est de faire le tri et d'exclure le plus rapidement possible ces traces indépendantes, de loin les plus nombreuses et qui sont des éléments contaminant l'enquête expertale. En effet, elles sont souvent le fait involontaire des premiers intervenants qui sont les personnes ayant découvert le crime, les proches ou voisins de la ou des victimes, les secouristes, ou encore le fait de prédateurs (insectes, animaux, humains...). Bien qu'indépendantes, ces traces sont matérielles et existent réellement avec leur signification propre.

Une notion importante découle de cette matérialité, c'est la fragilité de la trace et son caractère possiblement éphémère. Par ailleurs, lorsque la trace est découverte et isolée, elle existe depuis sa formation mais l'épisode qui précède cette dernière ne peut être que reconstruit par des hypothèses. Cette tâche délicate est souvent compliquée par le caractère partiel, incomplet voire dégradé au moment de l'observation puis évolutif ou périssable du matériel qui la constitue (c'est en particulier le cas de toutes les traces biologiques qui doivent être extraites de la scène de crime et maintenues au froid le plus tôt possible pour être exploitables (sperme, salive...). Généralement elle est pathognomonique de l'action qui l'a engendrée et par suite de l'acteur. Elle peut être naturellement présente sur le site où elle est découverte mais elle est plus précieuse si ce n'est pas le cas, le lieu et le moment de l'action qu'elle évoque constituent alors un indice exploitable.

Toutefois en dépit des incidences précédentes, cette matérialité, rend possible une description, ainsi que la pratique de mesures et d'analyses chimiques, physiques et biologiques qu'il est alors loisible de confronter à des bases de données. Le caractère évolutif qui peut-être un handicap est parfois une chance. C'est par exemple la disparition rapide de l'héroïne du sang d'une victime (en moins de deux minutes) mais sa séquestration sous forme dégradée de monoacétyl-morphine dans la bile pendant un plus long séjour et en quantité bien supérieure à celle du sang. Grâce à cette transformation, il est permis d'affirmer la présence antérieure d'héroïne même en son absence et ce, malgré l'inexorable écoulement du temps et au caractère unique de l'action qui en est la cause. Cet état de chose rend compte de la nécessité de pouvoir revenir sur la trace pour l'expertiser à nouveau et réviser sa première approche (*rien dans le sang prélevé dans un premier temps sur un cadavre suspect de mort non naturelle ; recherche du prélèvement conservatoire de bile voire prélèvement postérieur de celle-ci pour recherche de la 6-monoacétyl-morphine*). Hélas, ce cas de figure n'est pas le plus fréquent, l'expert doit se contenter le plus souvent de reconstructions du déroulement d'événements restant pour le décideur judiciaire des conjectures plus ou moins validées.

Lorsque l'expert est venu à bout de ses inférences, il parvient parfois à lier la trace à sa source et au scénario potentiel qui l'a produite. C'est alors que la trace devient un indice. Il convient donc de valider la trace afin de la rendre utile ou sans intérêt pour l'enquête ce qui revient à sérier son origine et ses conséquences.

3. Démarche heuristique et abduction

Nous avons suggéré ci-dessus la grande difficulté que constituaient pour l'expert les traces « contaminantes » vis-à-vis des traces à investiguer sur une scène de crime. Nous verrons même au chapitre 14, l'importance particulière que cela génère en cas de contraintes NRBC⁴. Nous avons indiqué leur origine et leur inévitable présence avant voire après l'action, objet de l'expertise. Il faut aussi rappeler leur possible

⁴ NRBC pour Nucléaire, Radiologique, biologique et Chimique.

nuisance par rapport aux traces utiles à l'enquête. Pierre Margot écrit [1] qu' « elles créent un bruit de fonds susceptible d'amener de la confusion. Elles oblitèrent petit à petit les traces pertinentes qui pourraient aider à décrire un événement particulier ».

Des précautions draconiennes sont donc prises sur la scène de crime pour tenter de maîtriser le phénomène (tenues de protection, combinaisons, scaphandre, masque ou appareils respiratoires, gants, sur-bottes et sur-chaussures etc.) et l'utilisation de protocoles opératoires précis est imposée aux intervenants notamment pour éviter l'effacement des traces et pratiquer leur prélèvement (voir chapitres 2 et 14). Il faut reconnaître que ces mesures indispensables ne peuvent garantir l'absence de contaminations. Le bon sens des investigateurs demeure leur outil principal pour décider de la pertinence d'une trace grâce à une démarche heuristique tenant compte de l'environnement de la scène et de l'apprentissage des scènes observées antérieurement l'amenant à ces conjectures plausibles.

Pouvant paraître intuitive, cette phase de l'expertise repose sur ce que le philosophe Charles Sanders Peirce développe dans ses « collected papers » comme le raisonnement abductif⁵ [4]. Il le fait suivre d'une phase de déduction explicative dans un premier temps puis, en s'appuyant sur celle-ci, d'une phase démonstrative dans un second par un raisonnement logique aboutissant à des conclusions vraies. Enfin il met à l'épreuve les hypothèses ainsi déduites dans une phase d'induction qui la confirme ou la réfute. La justice bénéficie de cette sélection qui réduit sensiblement le nombre d'affaires renvoyées pour preuves insatisfaisantes. Ceci peut se résumer en « du bon sens et de la méthode » sous-tendu par une connaissance approfondie du spécialiste dans son domaine d'étude. Il choisit alors, en fonction des renseignements disponibles, les moyens qu'il va mettre en œuvre. Ceux-ci, comme la lecture de l'ouvrage présent le montre, ont évolué considérablement et continuent de se perfectionner en permanence pour atteindre des sensibilités et des seuils de détection et d'identification encore inimaginables il y a peu d'années. Contradictoirement ce n'est pas toujours une simplification pour le travail de l'expert. En effet, quelle signification revêt la présence de quelques picogrammes de cocaïne sur les cheveux d'une victime âgée de 75 ans lors d'un accident de la route ? Vraisemblablement pas plus que ces mêmes quantités retrouvées sur des billets de banque saisis dans sa poche puisque 30% de ceux-ci, en moyenne, en supportent de telles traces. Ce sont donc les circonstances qui environnent la trace qui vont justifier l'attention de l'expert. La recherche inutile de telle ou telle information est alors le fait d'une observation incomplète et irraisonnée de la situation aboutissant alors à la sélection de traces non pertinentes. Elle est du même ordre que la prescription d'un check-up de 25 paramètres biologiques par un médecin à un patient qui le consulte pour un panaris. La saisie d'un linge souillé de traces biologiques intimes dans une salle de bain d'un appartement n'a aucune justification si l'expertise concerne un vol par effraction dans ledit appartement. En revanche, il sera légitime de rechercher si les traces d'impuretés et d'adultérants mesurées dans les résidus de poudre présents dans les poches d'une victime décédée dans des toilettes sont les mêmes que celles retrouvées dans son sang conjointement à la cocaïne ou la morphine. Il en est de même, dans le cadre du vol par effraction, de la recherche des empreintes au sol ou sur les objets déplacés ou manipulés, des modes de pénétration et de sortie du local forcé. Dans le processus d'abduction, la qualité de l'observation est donc aussi essentielle que le bon sens car observer n'est pas seulement voir et observer n'implique pas nécessairement voir. Il faut se poser les bonnes questions et se focaliser sur les traces les plus informatives (empreintes digitales, résidus biologiques comme le sang, le sperme, l'urine, les poils, la salive, les vomissures etc.) qui moyennant des vérifications draconiennes pour exclure toute autre conjecture plausible, peuvent à elles seules conduire à l'identification d'un suspect (via les fichiers des empreintes dactyloscopiques ou génétiques ou par la comparaison d'analyses bio-toxicologiques diverses).



En effet, quelle signification revêt la présence de quelques picogrammes de cocaïne sur les cheveux d'une victime âgée de 75 ans lors d'un accident de la route ? Vraisemblablement pas plus que ces mêmes quantités retrouvées sur des billets de banque saisis dans sa poche puisque 30% de ceux-ci, en moyenne, en supportent de telles traces. Ce sont donc les circonstances qui environnent la trace qui vont justifier l'attention de l'expert. La recherche inutile de telle ou telle information est alors le fait d'une observation incomplète et irraisonnée de la situation aboutissant alors à la sélection de traces non pertinentes. Elle est du même ordre que la prescription d'un check-up de 25 paramètres biologiques par un médecin à un patient qui le consulte pour un panaris. La saisie d'un linge souillé de traces biologiques intimes dans une salle de bain d'un appartement n'a aucune justification si l'expertise concerne un vol par effraction dans ledit appartement. En revanche, il sera légitime de rechercher si les traces d'impuretés et d'adultérants mesurées dans les résidus de poudre présents dans les poches d'une victime décédée dans des toilettes sont les mêmes que celles retrouvées dans son sang conjointement à la cocaïne ou la morphine. Il en est de même, dans le cadre du vol par effraction, de la recherche des empreintes au sol ou sur les objets déplacés ou manipulés, des modes de pénétration et de sortie du local forcé. Dans le processus d'abduction, la qualité de l'observation est donc aussi essentielle que le bon sens car observer n'est pas seulement voir et observer n'implique pas nécessairement voir. Il faut se poser les bonnes questions et se focaliser sur les traces les plus informatives (empreintes digitales, résidus biologiques comme le sang, le sperme, l'urine, les poils, la salive, les vomissures etc.) qui moyennant des vérifications draconiennes pour exclure toute autre conjecture plausible, peuvent à elles seules conduire à l'identification d'un suspect (via les fichiers des empreintes dactyloscopiques ou génétiques ou par la comparaison d'analyses bio-toxicologiques diverses).

⁵ Abduction : inférence qui mène à la découverte d'une hypothèse plausible.

C'est ainsi qu'Olivier Ribaux et Pierre Margot proposent en 2008 trois niveaux de consolidation du principe de Pearce : un niveau physique, un niveau situationnel et un niveau « renseignement ». Le premier consiste à choisir le bon support de la trace, les deux suivants prennent en compte l'expérience expertale. Telle situation criminelle engendre habituellement tel type de traces pour le second et « *la connaissance des phénomènes récurrents, de problèmes spécifiques et de l'état actuel de la criminalité, notamment des séries d'infractions en cours* » pour le troisième [5]. Selon Maurice Cusson, cette approche « *a fait beaucoup avancer l'étude des répétitions criminelles, ils (les auteurs) montrent comment l'utilisation des traces matérielles peuvent servir à reconstruire ce qu'ils appellent les phénomènes sériels... Par exemple, des empreintes digitales ou génétiques appartenant à un même individu trouvées sur les lieux de plusieurs cambriolages autorisent à conclure que cet individu a participé à cette série de vols* » [6]. L'auteur illustre son propos avec un exemple détaillé observé en Suisse et repris du chapitre cité en [5] également décrit en [1], et que nous évoquons ci-après tant il a fait école aussi bien chez les experts que chez les malfaiteurs (par exemple, 5 truands kosovars albanais sont arrêtés entre mai et juillet 2011 après avoir perpétré dans les Hauts de Seine et les Yvelines une soixantaine de méfaits utilisant rigoureusement le **même scénario** :

Suite à une série de cambriolages nocturnes, il est supposé que les cambrioleurs pénétraient les locaux en perçant un trou dans le cadre d'une fenêtre avec une perceuse manuelle. Par ce trou les voleurs introduisaient une tige pour soulever la poignée intérieure de la porte. Les enquêteurs ont alors supposé que les voleurs soufflaient dans le trou pour évacuer les copeaux de bois en terminant avec un doigt. Des prélèvements ont été réalisés autour des points de contacts supposés dans le but d'y déceler des traces biologiques. Dans la moitié des trente cas testés, un profil ADN a permis d'identifier un petit groupe d'auteurs. C'est ainsi qu'un gang de cambrioleurs a pu être écroué.

Alors que le plus souvent auparavant, les traces matérielles n'étaient exploitées qu'au sein d'une enquête unique et au mieux reliées à un délinquant fiché pour tel délit, ce mode d'analyse des traces est devenu partie intégrante du renseignement criminel (intelligence légale [7]) ouvrant la voie à de nouvelles approches transdisciplinaires [8]). La mise en relation des traces relevées au cours de séries de vols avec une base de données d'ADN rend alors possible la réunion d'enquêtes jusque-là séparées et la mise en rapport des crimes non seulement ayant un mode opératoire identique mais également des crimes différents mais commis par un même criminel. Dans le prolongement de cette démarche, le profilage des drogues s'est développé [9] ainsi que la recherche des auteurs de contrefaçons dans le domaine de la fabrication des médicaments [10] ou des faux papiers [11].

4. Trace, signe et indice

Comment la trace devient signe puis indice ? Les trois termes n'étant pas interchangeables, leur confusion occulte tout un processus de découverte scientifique : observation, détection, maîtrise de ce qu'on cherche, exclusion du parasitage d'informations contaminantes.

4.1. De la trace au signe

Le signe tout comme la trace revêt une multitude de sens. Littré en relate une quinzaine. Dans le domaine forensique retenons la première que donne le **dictionnaire Larousse** en 2015 : « Ce qui permet de connaître ou de reconnaître, de deviner ou de prévoir quelque chose » qui paraît une bonne synthèse adaptable à notre domaine.

La trace est promue au rang de signe si elle est intégrable dans au moins une de ces quatre fonctions. Il s'agit donc d'une information utile mais dont la signification n'est pas nécessairement claire. Sa clarification en fera un Indice.

4.2. Du signe à l'indice :

L'indice résulte donc de cette clarification qui est par exemple l'apport d'un élément de connaissance qui crédibilise fortement le lien entre effet observé (la trace) et sa cause.

Ceci est en accord avec les principales définitions qu'en donne le **Dictionnaire Larousse** : « Objet, fait, signe qui met sur la trace de quelque chose » ou « Ce qui signale, dénote, annonce quelque chose » ou encore « un fait établi, moyen de preuve sur lequel le juge fonde sa conviction ».

Il importe donc que l'information requise pour ce passage du signe vers la signification indiciaire soit de qualité c'est-à-dire experte, à l'instar de celle du chasseur antique. Il est intéressant de noter ce qu'écrit à ce propos l'historien philosophe Carlos Ginzburg inventeur du « paradigme indiciaire » [12] et qui rend compte de la précision du raisonnement analytique nécessaire à l'expert. Il estime en effet que le critique d'art (Morelli) qui porte son attention dans les moindres détails d'un tableau (lobe d'oreille, ongles, forme de doigt) pour distinguer l'original d'une copie, au même titre que Freud qui fonde sa psychanalyse sur la recherche de détails triviaux chez le patient ou que Conan Doyle dans ses romans où Sherlock Holmes extrait la vérité criminelle dans l'observation des indices imperceptibles, procède du même modèle de sémiotique médicale. Il ne s'en étonne pas car ils sont tous trois médecins et il considère par ailleurs que ce *modus operandi* a des racines lointaines puisées « dans le patrimoine de connaissances accumulées pendant des siècles par les premiers hommes chasseurs, habitués à reconstruire une forme ou une réalité à partir de multiples indices minuscules et de traces muettes : empreintes, touffes de poils, odeurs, etc. » [13]. L'auteur illustre son propos en nous renvoyant au fameux conte oriental du 16^{ème} siècle repris par l'écrivain anglais Horace Walpole⁶. C'est l'histoire de trois frères princes de Serendip qui parviennent à décrire l'aspect d'un animal qu'ils n'ont pas vu, à partir des indices recueillis sur son passage : un chameau blanc, borgne, boiteux qui porte deux outres sur le dos, de beurre et de miel et qui est conduit par une femme enceinte. A l'aide de cet exemple cynégétique, il démontre qu'en acquérant et exploitant des connaissances observationnelles fines et avec de l'intelligence, « *il est possible de remonter à une réalité complexe à partir de faits expérimentaux apparemment négligeables et de la convergence des indices* ».

Par rapport à la trace puis au signe que le malfaiteur a laissé sur la scène de crime, l'indice est le signataire de son forfait. Autrement dit c'est la valeur ajoutée au signe. A ce concept s'attache la notion de probabilité qu'Emile Littré injecte dans la **définition qu'il donne de l'indice** « Signe apparent qui indique avec probabilité » un fait, une action, un délit, un forfait, un crime...

De nombreux auteurs ont proposé des approches méthodologiques pour classer par ordre d'importance signifiante, les indices pris en compte dans la résolution des problèmes judiciaires posés. Ainsi Cook R *et al.* et Evett IW *et al.* proposent à l'expert un modèle de hiérarchisation stricte des hypothèses envisageables pour l'interprétation des cas en intégrant les principes de l'inférence bayésienne⁷. Ils considèrent essentiel d'élaborer *in fine* au moins deux propositions contradictoires pour mesurer leur vraisemblance en les comparant sans s'écarter des limites de son expertise. Le processus qu'ils présentent dans ces articles constitue un cadre pour prises de décisions en termes d'impartialité et de rigueur scientifique permettant de chiffrer « le poids de la preuve » au moyen d'un coefficient ou rapport de vraisemblance LR (likelihood ratio)⁸. [14 ; 15 ; 16]. Sur la base de cette approche solide logique et équilibrée, Champot C *et al.* se posent la question des bases de données qui seraient appropriées pour attribuer les valeurs aux probabilités déterminées et en

⁶ Cet auteur anglais est l'inventeur du mot « serendipity » (*accident and sagacity while in pursuit of something else*) préfigurant les concepts de « paradigme indiciaire ».

⁷ L'inférence bayésienne est une inférence permettant de déduire la probabilité d'un événement à partir de celles d'autres événements déjà évalués. Le raisonnement considère les cas où une proposition peut être vraie ou fausse sans se référer à une loi ou un axiome mais selon des propositions qui peuvent être vraies ou fausses ou seulement probables. L'inférence bayésienne corrige la probabilité résultante au cours de l'incrémentement des observations. (Pour en savoir plus sur les méthodes statistiques bayésiennes).

⁸ Likelihood ratio : rapport emprunté aux domaines statistique et économique pour comparer deux situations en termes de sensibilité et de spécificité.

dessinent les lignes directrices à l'aide de diagrammes qu'ils appliquent à une série de cas concrets [17]. Jackson *et al.* appliquent le concept à l'expertise en médecine légale [18].

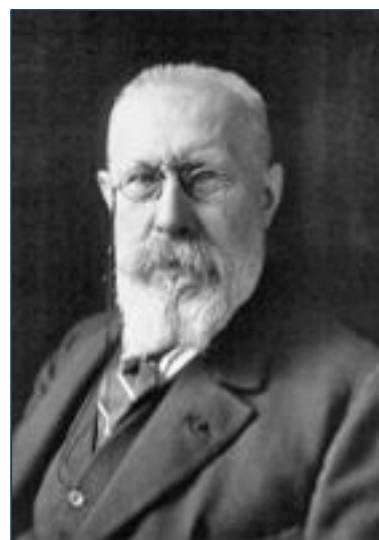
Donc sur une scène de crime, après la qualification d'une empreinte de chaussure ou d'une empreinte digitale d'un individu (source) en indice de présence de celui-ci, après application du processus évoqué ci-dessus, cet indice peut devenir indice d'action, déterminant alors tel ou tel déroulement potentiel des faits. Il aura fallu pour cela confronter la proposition : « la trace observée est légitime sur ces lieux où un vol est commis car la source identifiée y avait normalement accès » à la proposition « la trace est suspecte car la source identifiée qui avait accès au lieu n'avait pas de légitime raison d'accéder à l'objet volé qui supporte l'empreinte » ou encore « la trace est suspecte car la source identifiée n'avait pas de raison légitime de se trouver dans les lieux ». Les deux dernières propositions pèseront davantage sur le LR.

Ainsi, détecter de la morphine dans l'urine et le sang d'un conducteur ayant entraîné un accident de la route n'est pas le témoignage d'un comportement de toxicomane, il suffit pour cela qu'il ait absorbé auparavant un sirop pour la toux ou un antalgique contenant de la codéine, la morphine étant un produit de dégradation métabolique de la codéine. Mais c'est également le cas pour l'héroïne. Le même indice source ne sera donc pas promu en indice de la même action. Des informations plus pertinentes sont nécessaires pour étayer la vraisemblance de l'action « traitement d'un rhume » ou « toxicomanie à la morphine voire à l'héroïne ». Le contexte, les renseignements d'enquête intégreront les différentes inférences testées mais c'est l'identification fine de 6 mono-acétyl morphine dans un prélèvement biologique du conducteur qui validera plus sûrement l'hypothèse de l'usage d'héroïne par celui-ci.

De même, l'identification du caractère criminel d'un incendie est assez simple si des traces de solvants inflammables, qui n'ont pas lieu d'être dans ces lieux, sont découvertes mais le souci de l'expert est du même ordre pour remonter à l'auteur du crime s'il ne dispose que de restes d'essence dans un bidon trouvé chez un suspect garagiste.

Alors que la théorie bayésienne (ou probabilité des causes possibles) ne concerne pas l'expert qui se focalise sur la trace dans son activité technique scientifique et à ce qu'elle veut dire en ignorant la cause, cette approche permet en fait d'aider le juge et le tribunal à se faire la conviction qui leur est nécessaire pour une prise de décision sur la cause en déterminant un rapport de causalité entre un résultat et une action. Ce rapport peut varier sensiblement selon les différentes versions des faits et les circonstances de leur survenue. L'évaluation de l'indice en dépend grandement.

Pierre Margot rappelle fort justement [1] que « *le tribunal ou le juge s'intéresse à la cause (question morale par excellence), le scientifique à la trace, et sa signification potentielle face à des alternatives d'explication de sa présence (question matérielle)* » et il commente cette assertion en prenant l'exemple de l'affaire Dreyfus en se référant à la citation d'Appell *et al* [19] : nous reproduisons ce qu'il écrit « *Cette distinction essentielle a été mise en évidence lorsque la commission d'experts dirigée par Poincaré a décomposé l'erreur de raisonnement de Bertillon dans l'affaire Dreyfus (« Dans l'impossibilité de connaître la probabilité a priori, nous ne pouvons pas dire : telle coïncidence prouve que le rapport de la probabilité de la forgerie ⁵¹ à la probabilité inverse a telle valeur. Nous pourrions dire seulement : par la constatation de cette coïncidence, ce rapport devient tant de fois plus grand qu'avant la constatation* ») ». Pierre Margot [1] affirme également que « *le refus de connaître ces éléments de contexte est un non-sens lorsqu'il s'agit d'investigation ! Sa fonction (de l'indice) explicative ne peut exister indépendamment d'évènements qui doivent être reconstruits ou expliqués* ».



Paul Appel (1855-1930)
Mathématicien français
engagé au coté de Poincaré
dans l'affaire Dreyfus
il intervient comme expert à la
révision du procès en 1906

Comme dans l'affaire Dreyfus, ce sont les circonstances qui ont fait de l'affaire Marc Machin une erreur judiciaire en surévaluant les indices disponibles et en mésestimant les circonstances environnantes. Nous la prendrons comme exemple :

Quelques éléments de réflexion à propos de l'affaire Marc Machin

Marc Machin fut accusé du meurtre de Marie-Agnès Bedot, poignardée le 1er décembre 2001 en se rendant à son club de sport au petit matin. Elle est découverte par un passant sous le pont de Neuilly au bas des escaliers vers le jardin public. Elle gît face contre terre dans une mare de sang ; l'autopsie révélera plusieurs coups de couteau. Marc Machin fut condamné à dix-huit ans de prison en première instance le 9 septembre 2004 et sa peine fut confirmée en appel en 2005, assortie de 12 années de sûreté. Il avait été arrêté suite au témoignage d'une passante (une infirmière qui avait été abordée par le suspect le même matin sur le pont de Neuilly en lui tenant des propos vulgaires). La description précise de l'infirmière (témoin à priori sensé et crédible) qui par ailleurs n'avait rien vu d'autre, a rapidement permis d'appréhender le suspect car il est connu des services de police.

Sous la pression de l'interrogatoire et plus ou moins conscient de son imprégnation alcoolico-cannabique, Machin se soupçonne schizophrène et à la fin de sa garde à vue, finit par avouer le meurtre avant de se rétracter et depuis de clamer son innocence.

Après une enfance chaotique avec des antécédents d'abus sexuels, ce jeune homme menait une vie de marginal (alcoolique, consommant du cannabis). Son casier au moment des faits comporte des actes de vols, violences avec armes et deux agressions sexuelles.

Il a donc été mis en cause sur le fondement d'un témoignage indirect, de rapprochements, et d'aveux très partiels devant les enquêteurs lors de sa garde à vue. Marc Machin semble-t-il, ne disait pas être l'auteur du crime mais disait s'être réveillé à côté du corps de la victime avec un couteau. Il a dit à l'audience avoir fait ces aveux pour se décharger de la pression psychologique et qu'en conséquence, dira-t-il au procès, il se sentait à 50% responsable de ses aveux mais il se disait convaincu que les analyses d'ADN allaient le disculper. Or malgré l'absence de traces de son ADN sur la victime et sur la scène de crime, et l'absence de traces d'ADN de la victime sur les effets du suspect, il est considéré comme le criminel. Son passé constitue un indice possible bien que fragile à lui seul. Le témoignage crédible de l'infirmière renchérit sur ce dernier dans un contexte d'agression verbale sexuelle, sur le pont où a été perpétré le meurtre, et alors qu'elle reconnaît formellement le suspect physiquement et par ses vêtements. Toutefois l'analyse de l'ADN très bien maîtrisée à cette époque, sauf erreur de laboratoire, devait susciter d'autres hypothèses plausibles. Etre auteur d'agressions sexuelles ne permet pas d'incriminer un suspect de meurtre sans indices convergents surtout en l'absence de traces matérielles de contact permettant d'associer la source au meurtre. Malgré ses aveux⁹, il y a jusque-là autant de probabilité pour dire que le suspect peut être l'auteur du meurtre que pour la proposition inverse.

L'accusé aurait vraisemblablement terminé sa peine en prison si un fait nouveau inattendu ne s'était fait jour le 4 mars 2008. Ce jour-là, David Sagno, un SDF souhaitant soulager sa conscience se constitue prisonnier et s'accuse de deux crimes qu'il aurait perpétrés le 1^{er} décembre 2001 et le 22 mai 2002 sur le pont de Neuilly.

Des recherches de la police révéleront rapidement les deux affaires, la première correspondant à celle élucidée de Marc Machin et la seconde, non élucidée, correspondant au meurtre de Maria-Judite Araujo, 45 ans, égoragée, au même endroit que Marie-Agnès Bedot, 6 mois plus tard alors que Marc Machin est en prison.

Les enquêteurs s'interrogent sur la complicité possible des deux suspects ; Sagno venait de sortir de prison le 28 février (il avait été incarcéré pendant quinze jours dans la même prison) voire sur la possibilité d'un « copycat », un tueur qui aurait imité le crime imputé à Marc Machin, toujours en détention et dont l'histoire avait fait grand bruit. Toutefois, Sagno donnera force détails, notamment sur le rituel qu'il pratiquait, qui ne pouvaient être connus que de lui (la morsure qu'il fit à la main droite de la première victime et le nom du chanteur qui figure sur le Cdrom volé dans son sac ainsi que la marque de la bouteille de mousseux dont

⁹ La rétractation des aveux pose problème et mériterait un développement car leur forme et leur chronologie ont fait l'objet de controverses.

le tesson a servi à égorger la seconde victime. Enfin, lors de ses aveux, il affirmera qu'il ne connaissait pas Marc Machin et ne l'avait jamais rencontré.

De plus, alors que lors de la découverte des faits, des examens d'ADN n'avait révélé aucune trace de la victime sur le blouson de Marc Machin (ensanglanté selon ses aveux) et aucune trace d'ADN de Marc Machin sur la victime, l'analyse des traces biologiques prélevées sur des vêtements de Marie Agnès Bedot et sous ses ongles conservés sous scellés, a clairement identifié, 6 années plus tard, l'ADN de David Sagno dont l'enquête policière révèle par ailleurs 7 condamnations notamment pour des agressions sexuelles. Son ADN est également identifié sur la seconde victime.

On peut se demander pourquoi un nouveau meurtre, copie conforme et au même endroit 6 mois après celui de Mme Bedot, alors que Marc Machin était en prison, n'a pas conduit à un nouvel examen de cette affaire. Une explication se trouve dans le fait que le nouveau dossier était instruit par un autre juge et par un autre groupe de la brigade criminelle. On peut aussi constater que le relevé initial des traces matérielles (curage des ongles) par les premiers enquêteurs a été essentielle car même si leur exploitation réelle a été différée de 6 ans, elle a permis de promouvoir cet indice en preuve que Sagno était bien l'agresseur et qu'aucune autre version n'est désormais plausible.

Le 28 mars 2008, le ministre de la Justice, saisit la commission de révision des condamnations pénales d'une requête en révision. Le 1er juillet, la suspension de la peine de Marc Machin est accordée. Son nouveau procès s'est tenu le 17 décembre 2012. Entre temps, il est à nouveau mis en détention pour trois agressions sexuelles dont deux sur mineures.

Marc Machin fut acquitté à l'issue du procès et reçut un dédommagement de 663 320€ pour avoir passé indûment près de 7 ans en prison. David Sagno fut finalement condamné pour les deux crimes à 30 ans de réclusion.

5. Trace et empreinte

Contrairement à l'usage le plus fréquent, ces deux mots souvent confondus ne sont pas synonymes tout au moins pour l'expert en police scientifique. D'ailleurs, nous verrons au chapitre 9 que le rédacteur s'efforce de ne jamais utiliser le terme d'empreinte génétique mais il emploie les termes de microsattelites, de profil génétique, de profil chimique ou ADN.

Que dit Emile Littré à propos de l'**empreinte** : Figure marquée par impression. Empreinte en creux, en relief.

Cette acception est la bonne mais bien des dictionnaires confondent trace et empreinte. Il s'agit bien d'un acte volontaire. La plupart des définitions du dictionnaire Larousse sous-tendent également ce caractère, à savoir, la **fabrication** de l'empreinte alors que la trace se laisse sans que son auteur le veuille.

L'expert fabrique une empreinte dactyulaire pour la comparer avec une trace de doigt laissée sur un objet. Pierre Larousse dit par exemple : l'empreinte est une « *Marque pratiquée en creux ou en relief par l'objet que l'on presse sur une surface : L'empreinte d'un cachet.* » ou un « *Relevé de la forme de quelque chose avec un matériau plastique ; le moulage ainsi obtenu : Prendre l'empreinte d'une serrure.* » La notion de fabrication volontaire est également présente dans la définition suivante : « *Marque en relief laissée sur l'argile fraîche des tablettes cunéiformes ou des bouchons de jarres, par les cachets et les cylindres-sceaux* » et de même pour l'écriture imprimée qui résulte du « *Moulage en creux d'une composition ou d'un cliché en relief* » et de la volonté évidente de son auteur de transmettre une histoire, une information qui sera identique pour tous ceux qui, par sa lecture, en prendront connaissance. Mais si ces 4 définitions correspondent à une réalisation consciente de l'homme, Le Larousse donne aussi pour empreinte : « *la trace naturelle laissée par un contact, par la pression d'un corps sur une surface : Des empreintes de pas* ». Dans ce cas comme dans quelques autres que donne également le dictionnaire, l'expert parle de trace et non d'empreinte car qu'il le veuille ou non, l'auteur du pas laissera une trace qui contrairement à l'empreinte élaborée et quasi parfaite, sera présente, partielle, imparfaite éventuellement invisible à l'œil nu notamment sur une scène de crime.

Alors que l’empreinte dit ce qu’elle est car c’est son objet ; elle est souvent référencée par son identité, c’est le cas en police scientifique pour le fichier des empreintes dactylaires, la trace ne dira sa source que par comparaison à l’empreinte et ce avec un degré d’incertitude dépendant de nombreux facteurs. L’empreinte est l’outil de l’expert, alors qu’il travaille la trace. Il conviendrait qu’il contribue à préserver le sens des mots en les utilisant lui-même à bon escient.

L’empreinte génétique n’est pas une empreinte mais uniquement le résultat d’une analyse permettant d’identifier un ensemble répétitif de séquences de bases dans l’ADN d’un individu que l’on compare à des ensembles de séquences de référence. L’expert doit repérer l’ordre des motifs de bases, la taille des fragments, la position dans le chromosome, ... série de données alpha numériques ne correspondant pas stricto sensu à un moulage ou à une image obtenue par pression. Il convient de parler de profil. De même, le toxicologue qui exploite une analyse de spectrométrie d’absorption moléculaire UV-VIS ou IR ou une spectrométrie de masse sur une trace biologique (sang, urine) après diverses étapes d’extraction, n’obtiendra pas une empreinte mais un spectre. Dans le premier cas, il s’agit d’énergie consommée par la trace en fonction de la longueur d’onde, on parle de spectre d’absorption moléculaire voire de spectre UV-Vis ou UV et non d’empreinte digitale de spectre comme on le lit parfois. Dans le deuxième cas, le résultat d’analyse n’est autre que la détermination du poids d’une molécule, d’un ion ou d’une série de fragments les constituant et formant dans leur représentation graphique un profil de masse qu’on nomme spectre de masse et non une empreinte spectrale.

En revanche, le polymère à empreinte moléculaire (MIP, Molecular Imprinted Polymer) que l’expert chimiste ou toxicologue utilise de plus en plus pour séparer, dans une trace biologique complexe, une molécule toxique, est réellement un moulage moléculaire, cavité spatiale en négatif de la molécule recherchée, dans laquelle celle-ci s’emboîte et est plus ou moins retenue. Il est légitime ici de parler d’empreinte. Pourtant on se contente souvent de nommer cette technique SPE (solid phase extraction) comme de nombreuses autres sans empreinte moléculaire.

6. Trace : échantillon ou spécimen ?

La trace ne saurait être en aucun cas un échantillon du fait de son unicité et parce que l’échantillon implique son appartenance à une grande quantité de produits identiques lui faisant référence. Selon la **définition de Larousse**, il s’agit d’une « *Petite partie de marchandise servant de référence à une fabrication ou à une fourniture : Échantillon de tissu, de papier peint* » ou « *ensemble représentatif d’une ‘population mère’ possédant les mêmes caractéristiques.* »

La notion d’échantillon est développée au chapitre 7 du présent ouvrage (expertise en police scientifique en matière de stupéfiants). Dans le cadre du choix de l’expert travaillant sur des volumes importants de matière, l’échantillonnage nécessaire doit impérativement représenter qualitativement (composition, hétérogénéité...) l’intégralité du contenu, et de sa source. Ceci est d’autant plus important qu’un des enseignements, le profil des impuretés, permettra de remonter potentiellement aux réseaux de fabricants notamment par comparaison avec l’analyse de saisies au niveau du réseau de distribution voire des consommateurs eux-mêmes. Ce cas d’espèce reste spécifique car le traitement de la trace se confronte le plus souvent à son caractère microquantitatif. Toutefois l’échantillonnage s’imposera dans chaque circonstance où l’expert doit se constituer lui-même sa base de données comparative de référence. Comme, par exemple, dans l’affaire du talc Morhange¹⁰ pour laquelle des lots de production nombreux ont été analysés pour qu’une comparaison soit possible avec celui incriminé ou dans l’affaire de la josacine¹¹ contaminée par du cyanure et

¹⁰ L’affaire du talc Morhange concerne la mort de 36 nourrissons et l’intoxication de 168 autres dans les années 1970 suite à l’emploi de talc contaminé par des quantités importantes et toxiques d’hexachlorophène, suite à une erreur de manipulation industrielle.

¹¹ L’affaire de la Josacine concerne la mort d’une petite fille de 9 ans empoisonnée par ingestion du médicament (josacine) confié par sa maman aux amis qui l’avaient en garde le week-end. Du cyanure est rapidement identifié comme cause de sa mort. Après avoir dédouané le médicament d’une éventuelle malveillance lors de sa fabrication, les soupçons se portent sur de l’amant de l’amie qui gardait la jeune fille et l’hypothèse de l’erreur sur la victime constitue la suite du procès. La personne visée par l’empoisonnement aurait été le compagnon de l’amie. Le cyanure pouvait avoir diverses provenances et les conditions potentielles de son acheminement jusqu’au flacon de josacine ont donné lieu à de nombreuses hypothèses et analyses.

pour laquelle de nombreux lots de josacine mais aussi de cyanure de provenance diverse ont servi de références aux experts pour tenter d'identifier l'origine du ou des produits toxiques notamment par le biais du profil de leurs impuretés.

La notion de spécimen est proche de celle d'échantillon, la représentativité en moins. En ce sens, elle se rapproche de celle de la trace mais sans le caractère unique et imparfait qui prive le scientifique d'un choix. Selon Le Larousse, c'est un « être ou un objet qui donne une idée de l'espèce, de la catégorie dont il fait partie ». Mais Larousse confond les deux termes lorsqu'il ajoute « *exemplaire ou échantillon (en particulier revue, publication...) offerts gratuitement.* ». Le Littré a la même acception, le dictionnaire académique réserve au spécimen le sens de modèle et d'échantillon mais en parlant d'ouvrage scientifique ou d'édition nouvelle.

En matière de police scientifique, la difficulté se tient précisément là : la trace disponible, même parfaitement analysée, est-elle représentative de son auteur ? L'expert avec les outils de plus en plus performants dont il dispose et la maîtrise de leur qualité, est réduit à une probabilité qu'il doit évaluer. Contrairement, ces outils dont nous avons rappelé précédemment la sensibilité, n'obèrent pas la mauvaise qualité d'un prélèvement autopsique par exemple. Détecter une teneur précise, au picogramme près, d'un toxique dans un liquide hématique dont on ne peut garantir qu'il ne s'agit pas de sang cardiaque contaminé par du liquide gastrique, ou le résultat d'une recirculation post mortem, n'a pas de sens (ce cas de figure n'est pas exceptionnel lorsque le geste est pratiqué par ponction externe à l'aide d'une grande aiguille sur un cadavre très maigre). En revanche, la présence d'une quantité peu précise mais importante de ce même toxique dans du sang veineux périphérique est le témoignage quasi obligé d'un empoisonnement. Il importe que le prélèvement de la trace soit entouré du maximum de garanties, de descriptions et de contrôles techniques de ses caractéristiques par le préleveur qui ne doit cependant jamais s'affranchir du doute de la contamination. Ceci est particulièrement vrai pour les traces biologiques et les prélèvements sur cadavre. Toutefois, la difficulté technique peut conduire le préleveur à renoncer volontairement au recueil de tel prélèvement dont l'intégrité ne serait pas assurée par son geste (cadavre exsangue, restes humains décomposés ou difficilement accessibles...). Ceci peut être dommageable car même partielles et imprécises, les informations données par leur analyse peuvent être essentielles et orienter les recherches suivantes. Se focaliser sur les traces les plus parlantes pour remonter à la source est une tendance actuelle des experts notamment avec la vulgarisation de l'analyse de l'ADN et ce, malgré l'ubiquité de ce type de traces. A cet égard Pierre Margot donne l'exemple de l'information qui serait perdue si l'observation d'une trace de semelle de chaussure de mauvaise qualité était négligée [1] : « *cela peut être une vague forme (sans dessin de semelle spécifique) mais qui donne une information assez précise sur la pointure, l'orientation du déplacement, la présence d'un talon et peut-être d'une usure. Cela ne permet pas d'identifier le soulier, mais la taille permet d'exclure éventuellement toute une série de suspects (surtout si la pointure est particulièrement grande ou petite) et l'orientation permet d'imaginer un déplacement vers un meuble/objet qui peut porter d'autres traces.* » Il estime également que « *L'expert en documents qui ne fait pas l'analyse d'un document parce qu'il s'agit d'une copie et non d'un original n'a rien compris à son rôle. La copie est peut-être le seul spécimen qui constitue la trace matérielle, son étude peut être tout à fait pertinente même si des réserves doivent être émises.* »

Exemples illustrant la nécessité de ne pas négliger arbitrairement certaines traces

Au printemps 2004, en banlieue nord de Paris, le cadavre d'un homme d'une quarantaine d'années présentant des marques de violence est découvert étranglé dans sa cuisine. Des scellés divers sont réalisés avec méthode sur la scène de crime et des prélèvements biologiques sont pratiqués à l'autopsie et adressés au laboratoire de toxicologie. Dans un premier temps, l'analyse des traces ne permet pas de faire un lien entre le meurtre présumé et une cause possible.

L'analyse toxicologique du sang révèle la présence d'un médicament anticancéreux à concentration pharmacologique normale. Les renseignements d'enquête indiquent qu'il s'agit effectivement d'un patient atteint d'un cancer et qu'il est traité à domicile pour cette affection et pour les douleurs chroniques insupportables qui lui sont liées avec un opioïde de synthèse. Or aucune trace de morphine ou dérivés voisins n'est détectable dans chacun des prélèvements. La poubelle de la salle de bain avait fait l'objet d'un scellé global mais non confié au laboratoire. Au fond, quasiment vide, se trouvait un résidu de pansement souillé collé à

la paroi qui n'avait pas suscité jusque-là l'intérêt des investigateurs. L'examen attentif révèle qu'il ne s'agit pas d'un pansement mais d'un fragment de patch (dispositif à libération transdermique) non identifiable macroscopiquement. Son analyse permet d'identifier des traces de Fentanyl. Aucun patch vide ou neuf n'a été retrouvé au domicile de la victime et le pharmacien qui lui dispensait habituellement le médicament indique qu'il n'avait pas eu de retour d'emballages usagés comme c'est la règle pour ces produits. La trace « pansement souillé » est devenue « patch de fentanyl » et en cela « indice potentiel de trafic de drogue » qui fut démontré par la suite. L'investigation ultérieure, dont les détails ne sont pas utiles dans ce cadre, mit en évidence que des délinquants avaient pistés ce patient pour lui dérober son traitement à plusieurs reprises sous la menace, ce qui expliquait l'absence de fentanyl dans son sang et à son domicile ainsi que les traces de violence lors de leur dernière opération.

Sans un regard compétent et un discernement de l'expert, cette trace n'aurait pas été analysée. Par ailleurs, elle était source de multiples informations. Elle révélait d'abord la cohérence entre la prescription et la présence de ce résiduel ancien du dispositif médicamenteux dans la poubelle du patient en dépit de l'absence de fentanyl dans le sang. Elle suggérait un mobile possible de l'intrusion de délinquants chez la victime. De plus elle ouvrait une piste à la lutte contre un trafic naissant en France. Le fentanyl est un opioïde de synthèse plus puissant que la morphine et que l'héroïne avec des potentialités comparables en matière de flash recherché par les toxicomanes et en termes de dépendance. En 2004, le trafic de fentanyl n'est pas encore très connu même si des overdoses par utilisation de patch ont été publiées depuis 1993. Elle deviendra « drogue de rue » dans les années qui suivront sous les noms de « China white, China girl, Héroïne de synthèse... »).¹²

7. Comment la trace devient indice de source, d'action et de renseignement ?

Il ressort de ce qui précède que la trace matérielle est un objet dont la signification relève de son lien à l'affaire et aux hypothèses logiques pouvant la justifier. Elle est promue en signe en cas d'exploitation possible pour l'enquête et en indice quand cette exploitation peut aboutir à des hypothèses plausibles et hiérarchisées de l'indice de source à l'indice d'action et établissement du LR. Nous avons signalé plus haut que nombreux travaux de recherche fondamentale ou appliquée se fondant sur ces modes de raisonnement sont en plein développement [5].

¹² D'après GINAD : global information Network about Drugs. Les toxicomanes détournent les patchs pour des applications multiples ou pour s'injecter ou inhaler le contenu extrait des réservoirs voire pour les fumer ou les mâcher ou encore les infuser. Entre 1990 et 2007 la production clandestine mondiale de fentanyl (multipliée par 300) a fait quelques ravages (1013 personnes décédées par overdose entre 2005 et 2007).

7.1. La trace : indice de source

En prolongement des travaux des pionniers de l'exploitation des empreintes digitales comme moyen d'identification positive, tels ceux des Dr Henry Faulds¹³, Sir Francis Galton, Sir William Herschel, et Sir Edward Richard Henry¹⁴, Paul Leland Kirk donne au début des années 60, un essor nouveau à cette discipline qu'il érige en science à part entière « la criminalistique » [20]. Son opinion est que cette science, peu reconnue jusqu'alors en dépit des progrès considérables des moyens techniques qui l'ont fait progresser, souffre précisément de ce que « *les progrès ont été plus techniques que fondamentaux, pratiques plutôt que théoriques, transitoires plutôt que permanents* ». Il plaide pour la mise en lumière, comme dans les autres sciences, de principes fondamentaux sur lesquels peuvent se fonder prévision, déduction et interprétation de phénomènes et d'observations. Pour lui, la conception selon laquelle cette science consisterait en une « *présentation ordonnée de faits et de méthodes est erronée* ». Il plaide également pour une clarification sémantique, à la réflexion de laquelle il a beaucoup participé, et pour que la profession de criminologue soit reconnue à part entière.



L'identification ou l'identité relève de « l'unicité ».

Repérée par ses caractéristiques physiques, chimiques, biologiques ... une chose, une trace, un individu n'est identique qu'à lui-même sinon il, ou elle, est autre. P. Kirk écrit : « *Le criminaliste ne tente pas d'identifier excepté en tant que prélude à sa fonction réelle, celle de l'individualisation*¹⁵. *Le véritable but de toute science médico-légale est d'établir l'individualité, ou de s'en approcher aussi près que l'état actuel de la science le permet. La criminalistique est la science de l'individualisation. Elle est concernée seulement fortuitement par l'identification dans son sens ordinaire.* » [20] Autrement dit, l'expert n'identifie pas une empreinte digitale mais il individualise la personne source de cette empreinte. La criminalistique en tant que science doit selon P. Kirk « *s'enrichir de considérations probabilistes solides appliquées à l'interprétation des preuves.* »

Pierre Margot, souligne que « Cette conception est particulièrement bien illustrée par l'usage de la dactyloscopie. La trace digitale reproduit un dessin de l'arrangement des crêtes papillaires qui par la combinaison de détails accidentels permet de déterminer in fine l'identité spécifique du doigt qui a laissé la trace » [1]. De nombreux développements du concept ont suivi intégrant les raisonnements probabilistes évoqués auparavant [14 ; 15 ; 16, 21]. Nous avons vu que ces raisonnements invitaient à éliminer progressivement par inférences successives les propositions les moins fiables, les moins probables, pour aboutir à une décision sur l'identité individuelle. Lorsque les caractéristiques de deux traces ne sont pas différenciables, on parle d'identité qualitative et lorsque deux objets sont en réalité le même (observation de la même entité à deux endroits distincts ou par deux observateurs différents ou à un intervalle de temps ...) on parle d'identité numérique. L'idée du corolaire entre la précision et la spécificité de l'information technique et la facilité de l'identification de la source, a conduit l'expertise à privilégier (souvent à tort) la robustesse et la sophistication technologique instrumentale aux dépens de l'étude des renseignements d'enquêtes (situations, circonstances) générant des lacunes décisionnelles voire des erreurs parfois évitables. L'extrême difficulté de la réponse à la question de

¹³ Dr Henry Faulds (1843-1930) : médecin écossais en mission au Japon travaille sur les empreintes digitales depuis 1875 et mesure leur potentiel médico-légal et le publie dans Nature en 1880. Quelques années plus tard, Francis Galton ayant eu connaissance de ces travaux par Darwin mais s'y référant, développe cette pratique. Par ailleurs Sir William Herschel (officier britannique) revendique la paternité de ce concept qu'il utilise en Inde depuis 1850 pour démasquer les criminels.

¹⁴ Edward Richard Henry (1850-1931) chef de la police de Londres de 1903 à 1918. On lui doit le développement des techniques d'identification par les empreintes digitales et palmaires et leur classement dans des fichiers facilement exploitables (1891-1897).

¹⁵ L'individualisation : recherche et démonstration de l'origine unique (même individu, même matrice, même usinage, etc.) de deux objets similaires respectivement nommés « question » et « comparaison ». Si la concordance est validée, il convient, s'il y en a, de justifier les dissimilarités ce qui est la principale difficulté de l'expert.

l'identité d'une source suscite beaucoup de réflexions et des solutions qui ont varié avec le temps et les spécialistes.

Nous verrons avec le Professeur Christophe Champod au chapitre 8 de cet ouvrage, quelles sont les caractéristiques dactyloscopiques prises en compte pour décider qu'une trace a été laissée par tel doigt et quels sont les seuils de décision. Des pratiques dissemblables ont été observées. Par exemple, en Allemagne et aux USA, on se contentait de 7 ou 8 facteurs discriminants pour décider de l'identité, mais il en fallait 16 en Angleterre et 17 en Italie. Jusqu'à la fin du XX^{ème} siècle la disparité touchait même les services concernés en France où l'on admettait selon l'endroit la concordance de 12 à 16 minuties [22].

Ces difficultés sont du même ordre, par exemple, en matière d'expertise en document (voir chapitre 13) ou pour l'individualisation d'un locuteur dans un enregistrement (voir chapitre 16). Elle montre l'importance de raisonner en fonction des circonstances et du nombre potentiel de sources.

Pour l'expert en document, la multitude des encres existantes, et la variété des instruments scripturants¹⁶ compliquent d'autant plus leur attribution d'un écrit à la source instrumentale et plus encore humaine, tant interviennent des facteurs de modification du tracé (lot de production de l'encre, qualité du papier, altération de la bille ou de la plume du stylo utilisé, vieillissement de l'encre et du support, influence de l'éclairage et de l'humidité...) [23]. Toutefois de grands progrès ont été faits par l'équipe suisse du Professeur Christophe Champod et Cedric Neumann notamment avec la « [Digital Ink Library](#) » banque de données de plus de 10 000 encres différentes collectées en quarante ans et qui est une aide sérieuse pour réduire une liste de rédacteurs potentiels. Associé à des techniques chromatographiques ultra sensibles et à une analyse numérique de l'information exploitée automatiquement mathématiquement et statistiquement, l'outil parvient avec plus d'efficacité à l'individualisation. Il aurait permis entre autres d'identifier le biologiste de l'armée Bruce Ivins comme étant le responsable des envois d'anthrax, aux Etats-Unis en 2001 [24 ; 25].

De même, l'identification de la voix est un exemple des difficultés quasi insolubles de l'individualisation même si beaucoup de scientifiques se sont obstinés à résoudre ce problème. Selon JF Bonastre et al « un nécessaire devoir de précaution » s'impose et « dans l'état actuel des connaissances, il n'existe pas de procédures, automatiques ou basées sur une expertise humaine, permettant d'avancer avec certitude qu'une personne est - ou n'est pas - l'auteur d'un enregistrement vocal donné » [26] « la trace d'une voix dans un enregistrement téléphonique ou autres peut être variable pour un même individu selon la langue utilisée, les bruits environnants ou selon le moment d'enregistrement, c'est l'intravariabilité normale de la voix. Elle peut être comparée à l'intervariabilité des voix d'un groupe de référence enregistré dans les mêmes conditions [27]. La difficulté décisionnelle prise en compte par l'IAI (International Association for Identification) a conduit à l'élaboration de standards internationaux en 7 catégories : (1) Identification, (2) Identification Probable, (3) Identification Possible, (4) Non Concluante, (5) Exclusion Possible, (6) Exclusion Probable ou (7) Exclusion. Malgré cela les décisions 1 et 7 sont rares et parfois aucune décision ne peut être prise en dépit d'une approche probabiliste mathématique très étayée [26 ; 28].

7.2. La trace : indice d'action

Après que l'individualisation de la source a été validée, il convient de passer à l'étape suivante pour la corréler à l'action qui est à l'origine de la trace. Ceci suppose que le transfert de celle-ci est contemporaine de ladite action conditionnant sa durée de vie jusqu'à sa collecte et son étude. Cet intervalle temporel est important, comme cela a déjà été mentionné, tout comme la localisation et la position relative des traces. Cette question a été largement abordée ailleurs et quelques éléments sont repris ici (5).

L'étude de la trace en tant qu'indice d'action peut être considéré comme le *primum movens* des solutions de la criminalistique et de très nombreux scientifiques, chercheurs, experts des différents domaines de cette science s'y sont attelés avec, comme principe fondateur, le postulat d'Edmond Locard (29) : « *La vérité est que nul ne peut agir avec l'intensité que suppose l'action criminelle sans laisser des marques multiples de*

¹⁶ Tout instrument qui permet l'activité d'écriture.

son passage. [...] Les indices dont je veux montrer ici l'emploi sont de deux ordres : tantôt le malfaiteur a laissé sur les lieux les marques de son passage, tantôt, par une action inverse, il a emporté sur son corps ou sur ses vêtements les indices de son séjour ou de son geste ». On peut lire ce principe quasiment dans un article sur deux traitant de ce sujet.

La thèse de Frank Crispino explore 24 versions du principe classées en (1) criminologique et probabiliste, (2) criminologique et déterministe, (3) sociologique et déterministe puis finalement (4) universel : « *tout contact laisse une trace* ». Il s'attache ensuite à démontrer son caractère scientifique [30] qui explique que les circonstances et l'environnement du crime influent sur la nature des échanges entre le criminel et les objets de la scène de crime. La technicité du criminel et les moyens qu'il met en œuvre conditionnent les échanges dans les deux sens (via le criminel ou via les objets). Enfin, il montre également le caractère indissociable du principe avec celui de P. Kirk abordé précédemment. La trace en tant qu'indice d'action pour les pionniers de la criminalistique, comme le criminaliste et juge d'instruction autrichien **Hanns Groos** ou le professeur suisse Rudolph Archibald **Reiss** de même que **Locard**, a toujours sous-tendu leurs recherches et ils ont tous tenté de formaliser les liens entre les modes opératoires des malfaiteurs et les vestiges qu'ils laissaient. Force est de reconnaître qu'en dépit des nombreuses tentatives de théorisations contemporaines l'interprétation relève encore de processus liés à l'expérience des investigateurs sans méthodologie universelle reconnue. La plupart des recherches indiquent que les voies d'amélioration existent à travers une meilleure compréhension du phénomène criminogène avec ses composantes sociales, environnementales, situationnelles, dont les approches préventives participent de la meilleure exploitation de la trace en tant que vecteur informatif de l'action [30 ; 31 ; 32 ; 33].



7.3. La trace : indice de renseignement

Hormis l'individualisation de la source et de l'action, la trace peut être en plus, ou simplement, vecteur de renseignements utiles pour l'enquête au moyen d'investigations rationnelles et peu compliquées. C'est par exemple établir des corrélations entre des circonstances retrouvées dans plusieurs situations criminelles (mise en évidence d'une procédure itérative, des séries de crimes comparables ou d'un mode opératoire impliquant une organisation, des filières, des réseaux...). La mise en concordance de ces traces contribue alors à construire un modèle devenant un outil d'investigation plus que l'instrument de la vérité judiciaire.

Dans le paragraphe précédent, il est suggéré que la trace est également le ferment de réflexions d'ordre social notamment dans le cadre des mesures préventives de l'acte criminel. Les renseignements émanant de ces études comme le montre **SV Clark**, dans un bilan de ses travaux qu'il fait en décembre 2012 [33], montrent l'utilité de cet outil et l'importance de la relation entre les circonstances et le crime, ce qu'il développe et théorise autour de l'idée que « *l'occasion fait le larron* » mais en se gardant de trop s'éloigner d'un pragmatisme nécessaire dans ce domaine. **O. Ribaux**, **P. Margot** et d'autres à leur suite ont pris en charge la trace tant comme vecteur de renseignement (*forensic intelligence – analyse stratégique*) que comme outil d'investigation et d'enquête [34 ; 35 ; 36 ; 37 ; 5]. On ne peut pas déplorer l'accent mis par les laboratoires de police scientifique sur l'indispensable maîtrise de la qualité technique notamment par leur démarche de standardisation et d'accréditation ainsi que pour une bonne estimation des incertitudes liées aux méthodes analytiques. C'est un « mal » nécessaire car la mise en doute du résultat d'analyse est interdite particulièrement en matière de justice. Mais cette attitude figée sur un unique rôle d'auxiliaire de justice, certes légitime, est réductrice et fait perdre plus de 80% à 90% du riche pouvoir informatif des traces pour décrire des phénomènes ou des situations criminelles, leur genèse, leur développement et leurs différents acteurs. C'est ce que rapportent **Ribaux O et al** [38] car ces 80 à 90% d'informations « *ne servent pas à l'analyse criminelle* ». Ce concept est en plein développement. La valeur ajoutée de la trace vis-à-vis de la compréhension des principales formes de criminalités est essentielle et doit alimenter une analyse stratégique (*forensic intelligence*) utile à la décision des pouvoirs publics en matière de sécurité. Dans

cet article Ribaux O. *et al* développent l'idée que le renseignement au sens de la « *Forensic Intelligence* » issue de la trace doit contribuer à faire que la police soit réellement plus scientifique ; on parle d' « *Intelligence-Led-policing (ILP)* » (le renseignement du maintien de l'ordre). Bruenishollz E. *et al.* considèrent en particulier que l'ILP constitue un cadre efficace pour lutter contre les incendies criminels répétitifs [39]. Au-delà de la tendance des deux dernières décennies à la spécialisation générée par les empreintes digitales et les profils génétiques, il doit émerger une « *proactivité* » efficace de la police au travers d'un traçage scientifique des activités humaines, revalorisant ainsi le concept de polyvalence de la trace, chère aux pionniers de la science forensique. Selon une démarche holistique, ce traçage doit intégrer « *la grande diversité des traces des activités humaines des mondes virtuels, numériques et économiques* ». C'est dans ce cadre qu'est née en France la fonction de coordonnateur de scène de crime conçue notamment pour faire un meilleur usage de l'information véhiculée par les données médico-légales lors d'enquêtes. C'est également avec cette philosophie qu'on tend vers l'emploi du modèle nommé « *Gestionnaire de cas* » qui donne au médecin légiste une opportunité d'interprétation plus rigoureuse des données de son analyse en profitant de manière rationnelle de renseignements contextuels et en évitant leurs biais [40]. A tour de rôle, le médecin légiste est « *case manager* » ou analyste. Le rôle du « *case manager* » est de communiquer avec la police et de participer aux décisions concernant la collecte des traces sur la scène de crime, et la manière de les tester. L'analyste pratique les tests et les comparaisons selon les directives du manager. Dans le premier cas, sa compétence de scientifique et de technicien lui permet de prendre des décisions éclairées par le contexte. Dans le second, il analyse sans risque de biais contextuels. Les « *gestionnaires de cas* » transmettent aux analystes uniquement les faits d'enquête qui sont directement pertinents pour l'évaluation scientifique. Ils exploitent ensuite le rapport d'analyse pour en tirer les conclusions et conseiller les enquêteurs. D'autres modèles existent, moins contraignants, notamment pour l'exploitation des profils d'ADN avec la technique du « *démasquage séquentiel* » (par étapes successives) des profils des contributeurs connus ou soupçonnés après détermination du profil de la trace suspecte.

L'intérêt de la trace, vestige d'une activité criminelle et indice découlant de son analyse précise et des raisonnements associés, paraît bien réévalué à la lueur de ces nombreux travaux modernes, car elle transmet des informations indépendamment du crime lui-même. Ribaux O. *et al* [38] illustrent parfaitement la diversité très riche des applications possibles de la « *Forensic Intelligence* » avec l'exploitation de l'analyse des eaux usées par exemple pour appréhender la consommation de drogues et psychotropes ; avec l'utilisation des profils ADN pour mesurer la durée des épisodes de délinquance impunie ou de crimes en série et de la mobilité de leurs auteurs. Les travaux de Marclay *et al.* mettent également en lumière ce que le renseignement forensique, dans une approche globale et proactive, et non uniquement réactive, peut apporter à la lutte contre le dopage. Associant des données physiologiques, épidémiologiques et sociologiques aux résultats analytiques et au suivi des biomarqueurs du dopage, il constitue alors un outil polyvalent et flexible efficace pour « *neutraliser, mettre fin et/ou prévenir le dopage, individuel ou organisé, ou le trafic de produits dopants* » [41].

Certains auteurs proposent pour la mise en relation de ces données de renseignements provenant de l'analyse des traces, en particulier dans le cadre de crimes répétitifs faisant l'objet d'une veille opérationnelle, des outils du marketing comme les « *data mining* » ou « *fouille de données* ». Ce type de moyens recourant à des processus mathématiques divers (classifications, segmentation, arbres décisionnels, réseaux de neurones, algorithmes bayésiens et génétiques...) permet de mettre en lien des phénomènes en apparence distincts et d'anticiper des tendances normalement peu discernables sous réserve d'« *être encadré en amont et en aval par les théories criminologiques et l'expérience accumulée par les praticiens afin d'orienter l'application de ces techniques* » [42].

7.4. Hypothèse de pertinence et de la représentativité de la trace

Cette hypothèse appelle éventuellement à la répétition de l'analyse de la trace notamment au regard de nouvelles inférences voire de sa conjonction avec d'autres indices matériels ou de nouvelles perspectives pour s'assurer de sa pertinence et, si c'est le cas, de sa représentativité. En effet, unique et liée à un cas

d'espèce, les deux hypothèses ne vont pas de soi et doivent être vérifiées impérativement par l'expert sous peine d'erreurs préjudiciables.

Cette vérification d'une part, est sous-tendue par la compétence technique de l'expert et d'autre part, est subordonnée à son expertise, c'est-à-dire son expérience, son aptitude à répondre aux questions que justifie ses résultats techniques et surtout à son discernement.

7.4.1. *Pertinence de la trace*

Pour aborder ce point crucial, nous nous référons aux travaux de Durcida Hazard *et al.* [42] qui indiquent que l'évolution de la science forensique doit passer par une analyse « des notions élémentaires appartenant au quotidien et non se focaliser exclusivement sur le développement de nouvelles techniques ». La pertinence de la trace fait précisément partie de ces notions fondamentales trop peu considérées. Or, elle implique nombre de questions et « une multitude de paramètres intervenant dans le processus de raisonnement et de décision opérés sur les lieux d'investigation » parmi lesquels : la formation, le savoir et l'expérience. Les deux premiers paramètres sont aussi essentiels que le troisième pour aider et renforcer l'efficacité des spécialistes sur le terrain pour la collecte de traces pertinentes quand les contrôles de qualité et les protocoles standards sont devenus une réalité s'imposant dans les laboratoires de police scientifique.

Selon Pierre Margot [1], « La pertinence s'exprime par une relation entre la trace et le cas. Il n'est jamais certain, a priori, qu'une trace détectée soit effectivement en relation avec le cas à résoudre. La connaissance de séries criminelles en cours, la connaissance de modes opératoires et la connaissance des capacités de transfert et de persistance d'une gamme étendue de matériaux, objets ou signaux permettent de faire des hypothèses raisonnables de pertinence ».

Il est aujourd'hui assez clair que la collecte tout azimut des traces sur une scène de crime en se réservant la possibilité ultérieure d'un tri fondé sur d'hypothétiques renseignements d'enquêtes est plus ou moins un leurre qui ne garantit en rien que la trace incomplète mais vectrice d'une information potentiellement utile soit présente.

L'observateur avisé mais surtout instruit des écueils à éviter et rompu aux gestes et raisonnements compétents, évaluera la situation et collectera avec discernement la majorité voire la totalité des traces pouvant éclairer sur l'affaire. L'hyper compétence des spécialistes des diverses disciplines de la police scientifique capables de prouesses techniques des plus étonnantes s'oppose au caractère parfois sommaire de la formation de nombreux acteurs sur le terrain. Or, ce sont ces derniers qui ont à assumer la tâche la plus délicate et la plus déterminante pour l'élucidation de l'affaire. Il conviendrait que la police scientifique soit toujours associée à cette tâche fondamentale sur la scène de crime et que les phénomènes de transfert et de persistance de traces soient parfaitement appréhendés par les préleveurs sur le terrain. C'est pourquoi une formation scientifique solide est un point essentiel comme le commentent D Hazard *et al* [43] pour développer les sens et les outils d'observation et de détection ainsi que la compréhension de la puissance d'information des traces sur les sources et actions qu'elles traduisent. Faisant part de son expérience à l'Université de Lausanne Pierre Margot rend compte par exemple de ce qu' « une évaluation rétroactive a montré que des stagiaires (sans expérience, mais formés) rapportaient en moyenne deux traces pertinentes sur trois au laboratoire alors que le personnel expérimenté (de formation policière traditionnelle) ne rapportait, dans le même temps, qu'une trace pertinente sur trois » et affirme ensuite que « La formation des hypothèses de pertinence est une démarche scientifique essentielle de la police scientifique - sans celle-ci, la collecte des traces restera le maillon faible teinté d'amateurisme (parfois éclairé) qui affecte ce moyen d'investigation, malgré la reconnaissance de sa puissance intrinsèque » [1].

7.4.2. *Représentativité de la trace*

On comprend aisément qu'une balle de calibre 9 mm ne saurait avoir été tirée avec une arme de calibre inférieur. Il s'ensuit que le projectile de 9 mm dans un tel contexte n'est absolument pas représentatif de la source. De même, la présence de traces de paracétamol dans le sang d'un cadavre et d'un comprimé de ce médicament dans sa poche n'est pas représentative du coma toxique qui a précédé sa mort. Le lien est facile

à écarter dans les deux cas. En revanche, le dessin d'une trace digitale de qualité qui se conforme au dessin de l'empreinte avec lequel il est comparé, ou du profil ADN complet concordant assure une représentativité évidente de la source. L'ensemble des caractères comparés coïncident ou sont disjoints avec une telle acuité que l'expert n'a aucune difficulté à conclure.

Ce cas de figure est cependant souvent absent car lors de sa formation, la trace bénéficie d'un transfert imparfait de la source voire pollué de diverses manières (hétérogénéité initiale de la source, évolution divergente de la source et de la trace...). Dans ce cas, sans un raisonnement pertinent et des connaissances approfondies, la valeur probante de la trace en tant que pièce représentant la source peut échapper à l'analyste et conduire éventuellement à son exclusion du champ d'observation.

Nous avons évoqué précédemment, l'intérêt des profilages en matière de stupéfiants et de psychotropes médicamenteux contrefaits. Il s'agit là, d'un exemple illustrant le caractère représentatif d'une trace par rapport à sa source ou à une action la concernant. Même si la systématisation de cette approche n'est pas encore générale, le profilage des drogues est de plus en plus pratiqué. Or il concerne l'exploitation de traces qui, à première vue, ne sont pas essentielles (souvent qualifiées d'impuretés sans intérêt) pour représenter une source ou une action. Mais la répétition d'observations parallèles en rapport avec des saisies de drogues dispersées sur le territoire et en lien avec la détection de traces spécifiques, amène à des corrélations entre lots de fabrication ou de provenance géographique identiques. C'est ainsi que la composition chimique d'une poudre d'héroïne qui résulte de l'acétylation de la matière première que constitue l'opium qui, à côté de la morphine, renferme de nombreux autres alcaloïdes, est un mélange complexe de produits acétylés et non acétylables. Or, selon leurs lieux de culture et leur maturation, les pavots donneront des opiums de composition initiale très différente. Il s'ensuit que le résultat de l'analyse chimique donnera des profils d'héroïne de composition spécifique qui, même lorsque la poudre est diluée pour la redistribution aux consommateurs, ne varient plus. Des rapprochements sont alors possibles entre lots et par suite entre fabricants et distributeurs, ce qui rend possible le démantèlement de réseaux. Là, il ne s'agit que de l'association du processus d'acétylation et de l'observation de ce que quelques traces naturelles alcaloïdiques (codéine, thébaïne, papavérine...), peuvent indiquer sur la provenance. Mais les différentes étapes de l'extraction, de la fabrication, de la transformation, de la purification, de la mise en forme pour la vente et l'usage (ajouts volontaires de diluants¹⁷ et d'adultérants¹⁸) apportent leur lot supplémentaire de traces spécifiques, chacune d'elles pouvant être représentative d'une pratique particulière révélée par sa seule présence. Tout en considérant le caractère souvent fruste des procédures ajoutant à l'hétérogénéité d'un même lot, il importe alors de rassembler ces données indiciaires, de les associer à d'autres données descriptives (formes et aspects des emballages, consistances), couleurs, odeurs, logos...) et situationnelles (circonstances de découverte, environnement, de mettre en œuvre des moyens de traitement de l'information mathématique, informatique et statistique adaptés (notamment des réseaux de neurones artificiels ANN) pour remonter aux sources potentielles [44 ; 45 ; 46]. Laurence Dujourdy *et al* proposent ainsi d'étudier le lien entre les effets pervers convulsifs de certains lots de cocaïne et leurs compositions résiduelles en traces de solvants. Leur étude porte sur 18 solvants et l'emploi d'un système de transfert et de traitement automatique de données de type MySQL PHP. Ils parviennent alors à établir des seuils de décision permettant de déterminer la similarité de différents lots ainsi que les seuils de faux positifs ou faux négatifs [47]. Dans le prolongement de cette démarche F. Besacier utilise une base de données mise au point à l'INPS en France partagée avec l'IRCGN « OTARIES » (pour Outil de Traitement Automatisé pour le Rapprochement Inter-Echantillons de Stupéfiants). Ce type de démarche est moins fréquent dans un autre domaine où la criminalité organisée est pourtant grave et florissante ; le domaine des faux documents. Baechler S *et al* proposent de combler cette lacune avec « *le profilage forensique simple et généralisable des fausses pièces d'identité* ». En utilisant des moyens d'exploitation comparables, ils se basent sur des caractéristiques matérielles analysables visuellement constituant une marque de fabrique du faussaire et établissent des liens entre fausses pièces

¹⁷ Substances normalement inactives destinées à réduire la quantité de principe actif dans une dose pour la rendre consommable et pour rentabiliser son commerce.

¹⁸ Substances actives au plan pharmacologique, mais généralement accessibles librement ayant des buts variables (diluer, ajouter un effet soit amplificateur de la drogue initiale, soit correcteur ou modulateur de ses effets toxiques...).

d'identité provenant d'une même source. Leur étude a permis de rapprocher 30 à 50% d'un collectif important de fausses pièces issues de 9 cantons suisses et d'établir des renseignements d'ordre stratégique et opérationnel utiles à la lutte contre ce genre de fraude [11]. Il en est de même des travaux de Béen F *et al.* qui, dans le cadre de la contrefaçon des médicaments, établissent à partir de spectroscopies infrarouge (NIR) et Raman, des liens chimiques entre les saisies de médicaments contrefaits au moyen de différents algorithmes de classification¹⁹ [10]. Un autre exemple très caractéristique de la démarche est fourni par Erne E *et al.* [48] qui exploitent les traces de constituants volatils et de résidus plastiques sur des montres contrefaites possédant un bracelet parfumé pour établir des profils discriminants, comprendre le mode de production et confondre les contrefacteurs.

Il paraît clair à travers ces exemples qu'on gagnerait beaucoup en matière de police scientifique à focaliser davantage l'opérationnalité sur ces critères de pertinence et de représentativité des traces.

7.5. Maîtriser les erreurs

En dépit de toutes les assurances sur les moyens techniques et sur la compétence des acteurs de la science forensique et malgré leur expérience ainsi que sur l'application de tous les modèles de réflexion innovants qui se sont fait jour au cours des deux dernières décennies, les risques d'erreurs sont omniprésents. Aidée par des outils nombreux de plus en plus performants, l'exploitation sensée de la trace matérielle devient généralement source d'hypothèses causales raisonnables mais il subsiste toujours une dose d'incertitude. Celle-ci est liée à l'obligatoire reconstruction artificielle, à partir d'indices parfois ténus, d'une situation passée donc à l'évidence non vérifiable, même si de nombreuses données scientifiques convergentes en appuient la véracité. L'expert est contraint pour maîtriser au mieux le risque d'erreurs de la prendre en compte à chacune de ses actions techniques et à chacun des raisonnements qui le conduisent à une décision.

Parfois la difficulté est grande, en particulier en matière de toxicologie médico-légale et plus encore pour l'ADN comme nous l'avons signalée ci-dessus à propos de l'affaire Machin. Certaines équipes ont cherché des pistes pour gérer concrètement ce type de difficultés que rencontre l'expert. Selon Biedermann A *et al.*, « *une approche utile consiste à apprécier le risque d'erreur au cas par cas et de manière concrète, plutôt que de réfléchir de façon globale et abstraite* » [49].

L'évolution des concepts et des outils, notamment logiciels, que requiert aujourd'hui la science forensique, n'est pas encore une assurance contre les erreurs d'interprétation et de prise de décision car on observe de grandes disparités lors de l'emploi de ces techniques. « *La nature et la diversité des concepts à représenter, l'absence de consensus sur la manière de représenter les données, la diversité des solutions visuelles envisageables, les contraintes imposées par les outils exploités et l'absence d'une formalisation claire du langage, sont autant de causes supposées des difficultés* » ; c'est ce qu'écrivent Rossy Q et Ribaux O. [50] qui plaident pour une nécessaire consolidation des méthodes pratiquées.

La maîtrise des erreurs techniques est a priori un fait acquis même si une vigilance permanente est nécessaire. En revanche, maîtriser les risques d'erreurs inhérentes à la qualité de la trace et à sa représentativité des éléments qui sont à son origine (source, événements, actions, facteurs d'évolutions indépendants...) est une autre affaire très spécifique au domaine de l'expertise en police scientifique. Cela rend légitime de poursuivre une recherche approfondie de modèles pertinents pour réduire l'impact de ces difficultés.

¹⁹ Ces algorithmes de classification non supervisée (par ex, analyse en composantes principales (ACP) et analyse factorielle discriminante (AFD)) sont basés entre autres sur des courbes Receiver Operating Characteristics (ROC). Ces courbes mesurent la performance d'un système qui classe des entités en deux groupes en fonction de leurs caractéristiques, en donnant le taux de vrais positifs (sensibilité : fraction des positifs détectés correctement) en fonction du taux de faux positifs (fraction des négatifs détectés incorrectement) pour ce même groupe.

8. Conclusion

Ce chapitre avait pour objectif de revisiter, à travers sa définition en police scientifique, la trace matérielle en tant que fournisseur d'indices exploitables lors d'investigations policières, judiciaires, voire sociétales tout en montrant l'importance des variables à prendre en compte par l'expert ainsi que les risques auxquels il est confronté pour interpréter et conclure.

L'étude des traces matérielles, appelle une compétence, des moyens d'analyses, des méthodes de raisonnement et du discernement qui sont décrits, détaillés, illustrés et commentés dans les autres chapitres du présent ouvrage. Dans tous les cas, l'expert doit s'affranchir de deux obligations : d'une part, celle de la pertinence de la trace puis d'autre part, après qu'elle est admise, de sa représentativité par rapport à la source ou à l'action qu'elle sous tend. Ce n'est qu'ensuite qu'il peut tenter de reconstituer et comprendre le continuum de cette action par hypothèse passée et non vérifiable.

Il est apparu que toutes les potentialités informatives des traces, à travers les indices utiles qu'elles promeuvent, imposaient à l'expert d'élargir son champ de perception au-delà de l'exigence judiciaire immédiate pour être pleinement bénéficiaire à la police scientifique et plus généralement à la société. La « Forensic Intelligence » en est un prolongement naturel en pleine évolution. Elle informe sur les phénomènes sériels et le crime organisé, les explique et participe à l'élaboration des mesures réactives certes, mais de plus en plus proactives et préventives. C'est la voie vers laquelle tend la criminologie qui selon Delémont *et al.* « doit retrouver ses fondements » initiaux quant à la démarche scientifique d'exploitation des traces matérielles car celle-ci ouvre des perspectives nombreuses dont l'étude qualitative, quantitative et dynamique ainsi que la prévention des phénomènes criminologiques [8].

9. Bibliographie

- 1) Margot P. la trace, vecteur fondamental de la police scientifique Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique. 2014 ; 67 (1) : 72-97, 2014
- 2) Littré E. Dictionnaire de la langue Française. Ed. Gallimard Hachette. 1962 ; 7 : 1164-1166.
- 3) Pollock J-Y, « Théorie des traces », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 3 février 2015. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/theorie-des-traces/>
- 4) Peirce C.S. Pragmatism and pragmaticism. The logic of abduction. The Collected Papers. Vol 5. Ed Harvard University Press, Cambridge. 1931 : 195-199.
<http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.textlog.de/7663.html&title=Eprint>
- 5) Ribaux O, Margot P. La trace matérielle, vecteur d'information au service du renseignement. In Traité de sécurité intérieure. Cahier du Québec Éditions Hurtubise HMH. Montreal. Collection Droit et criminologie eds. M. Cusson, B. Dupont and F. Lemieux). 2008 : 300-320.
http://www.editionshurtubise.com/uploads/1641_traite_de_securite_interieure.pdf
- 6) Cusson M. Répétitions criminelles, renseignements et opérations coup-de-poing. Problèmes actuels de science criminelle, no. 21, 2008, pp. 37-52.
http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fclassiques.uqac.ca%2Fcontemporains%2Fcusson_maurice%2Frepetitions_criminelles%2Frepetitions_criminelles.doc&ei=UfnUvLbCIM-GsUsP0gOgD&usg=AFQjCNF9KFY-Nzd0mA9mafKDL_SCMPddgQ&bvm=bv.85464276,d.d24
- 7) Rossy Q, Ioset S, Dessimoz D, Ribaux O. Intégration de l'information judiciaire dans une base de données de renseignement sur le crime. Forensic Science Int. 2013 ; 230 (1-3) : 137-46
http://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=fr&prev=search&rurl=translate.google.fr&sl=en&u=http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23127656&usg=ALkJrhiYtBkq4IWAeKQRbI9LYGFCH_NnPA
- 8) Delémont O., Esseiva P., Been F., Benaglia L. La police scientifique au-delà de ses frontières actuelles: la perspective de nouvelles connaissances. Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique. 2014 ; 67 (3) : 283-304.
<https://applicationspub.unil.ch/interpub/noauth/php/Un/UnPers.php?PerNum=1038537&LanCode=37&menu=pub>

- 9) Corazza D et Esseiva P. L'apport de la trace matérielle dans l'enquête criminelle : évaluation de la contribution des liens chimiques issus du profilage de produits stupéfiants par l'analyse des réseaux sociaux. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*. 2013 ; 66 (3) : 341-363.
https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_178FCACC311D.P001/REF
- 10) Béen F, Roggo Y, Degardin K, Esseiva P. L'apport d'une approche criminalistique pour lutter contre la contrefaçon de médicaments. *Spectra Analyse*. 2014 ; 298 : 51-61.
<https://applicationspub.unil.ch/interpub/noauth/php/Un/UnPers.php?PerNum=1038537&LanCode=37&menu=pub>
- 11) Baechler S., Fivaz E., Ribaux O., Margot P. Le profilage forensique des fausses pièces d'identité: une méthode de renseignement prometteuse pour lutter contre la fraude documentaire. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*. 2011 ; 64 (4) : 467-480.
<https://applicationspub.unil.ch/interpub/noauth/php/Un/UnPers.php?PerNum=71974&LanCode=37&menu=pub>
- 12) Ginzburg Carlo, « Signes, traces, pistes » Racines d'un paradigme de l'indice, *Le Débat*, 1980 ; 6 (6) : 3-44.
http://www.sites.univ-rennes2.fr/cerhio/IMG/pdf/DEBA_006_0003.pdf
- 13) Serres A. Quelle(s) problématique(s) de la trace ? Communication prononcée lors du séminaire du CERCOR (actuellement CERSIC), le 13 décembre 2002, sur la question des traces et des corpus dans les recherches en Sciences de l'Information et de la Communication. HAL Id: sic 00001397 Submitted on 3 Apr 2005.
http://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_00001397/document
- 14) Cook R, Evett IW, Jackson GR, Jones PJ, Lambert JA. A Hierarchy of propositions : Deciding Which Level to Address in Case-work. *Science and Justice*. 1998 ; 38, 231-9.
http://serials.unibo.it/cgi-ser/start/it/spogli/df-s.tcl?prog_art=6005245&language=ITALIANO&view=articoli
- 15) Cook R, Evett IW, Jackson GR, Jones PJ, Lambert JA. A Model for Case Assessment and Interpretation. *Science and Justice*. 1998 ; 38, 151 - 156.
http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FGraham_Jackson6%2Fpublication%2F13486912_A_model_for_case_assessment_and_interpretation%2Flinks%2F0c960537109323b88d000000.pdf&ei=FDrXVNvoAZPpaNGGgaAI&usq=AFQjCNFJFNRIwYfRW9HVlqNF-BAGMPGxxww&bvm=bv.85464276,d.d2s
- 16) Evett IW, Jackson GR, Lambert JA. More on the Hierarchy of Propositions: Exploring the Distinction Between Explanations and Propositions. *Science and Justice*. 2000 ; 40 : 3-10.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10795422>
- 17) Champot C, Evett IW, Jackson G. Establishing the most appropriate databases for addressing source level propositions. *Science and Justice - Journal of the Forensic Science Society*. 2004 ; 44 :153-64.
<https://www.readbyqxmd.com/read/15270454/establishing-the-most-appropriate-databases-for-addressing-source-level-propositions>
- 18) Jackson G, Jones S, Booth G, Champot C, Evett IW. The nature of forensic science opinion - A possible framework to guide thinking and practice in investigations and in court proceedings. *Science and Justice - Journal of the Forensic Science Society*. 2006 ; 46 : 33-44.
https://www.researchgate.net/publication/6907436_The_nature_of_forensic_science_opinion--a_possible_framework_to_guide_thinking_and_practice_in_investigations_and_in_court_proceedings
- 19) Appel P, Darboux G, Poincarré H. Examen critique des divers systèmes ou études graphologiques auxquels a donné lieu le bordereau. Cour de Cassation, Paris (1904).
- 20) KIRK PL. The Ontology of Criminalistics. *The Journal of Criminal Law, Criminology and Police Science*. 1963 ; 54 : 235 - 238.
- 21) Kwan QY. Inference of Identity of Source. Doctoral dissertation thesis, University of California, Berkeley (1977).
- 22) Champod C. Reconnaissance automatique et analyse statistique des minuties sur les empreintes digitales. PhD en science forensique thesis, Université de Lausanne, [Concise, CH] : imprimerie M.A. Evard, Lausanne.1996.
<http://www.worldcat.org/title/reconnaissance-automatique-et-analyse-statistique-des-minuties-sur-les-empreintes-digitales/oclc/690203575?referer=di&ht=edition>
- 23) Neumann C. New Perspectives in the Use of Ink Evidence in Forensic Science. PhD en science forensique thesis, Université de Lausanne, Lausanne (2008).
- 24) Neumann C, Margot P. New perspectives in the use of ink evidence in forensic science: Part III: Operational applications and evaluation. *Forensic Sci Int*. 2009 ;192(1-3) :29-42.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19717252>
- 25) Neumann C, Margot P. Considérations sur les normes de l'ASTM 1789-1704 et 1422-1405 sur l'examen médico-légal d'encre. *Forensic Sci Int*. 2010 ; 55 (5) : 1304-10. .

<http://translate.google.fr/translate?hl=fr&sl=en&u=http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20487143&prev=search>

26) Bonastre JF, Bimbot F, Boe LJ, Campbell JP, Reynolds DA, Magrin-Chagnolleau I. Authentification des personnes par leur voix : un nécessaire devoir de précaution. conférence Eurospeech 2003.

http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FLouis-Jean_Boe%2Fpublication%2F228973618_Authentification_des_personnes_par_leur_voix_un_ncessaire_devoir_de_precaution%2Flinks%2F09e41509c3a40c6cb1000000.pdf&ei=hNrgVOyiEoT-WauWWgrgC&usq=AFQjCNGXY_ySJ5kYgWVYjOahiTM-XYRQfA&bvm=bv.85970519,d.d2s

27) Meuwly D. Reconnaissance des locuteurs en sciences forensiques: l'apport d'une approche automatique. PhD en science forensique thesis, Université de Lausanne, Lausanne (2001).

28) Boë LJ. Forensic voice identification in France. *Speech Communication* (2000) ; 31 : 205-224

<http://www.afcp-parole.org/doc/SpComLJB.pdf>

29) Locard E. L'enquête criminelle et les méthodes scientifiques. Flammarion, Paris (1920).

<http://www.worldcat.org/title/enquete-criminelle-et-les-methodes-scientifiques/oclc/492170834?referer=di&ht=edition>

30) Crispino F. Le principe de Locard est-il scientifique? Ou analyse de la scientificité des principes fondamentaux de la criminalistique. PhD en science forensique thesis, Université de Lausanne, Lausanne (2006).

http://www.unil.ch/esc/files/live/sites/esc/files/shared/These_Crispino1.pdf

31) Felson M, Clark RV. Opportunity Makes the Thief : Practical Theory for Crime Prevention. In *Police Research Series*. Home Office, Research, Development and Statistics Directorate, Policing and Reducing Crime Unit 1998 :1-36.

<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20110218135832/rds.homeoffice.gov.uk/rds/prgpdfs/fprs98.pdf>

32) Clark RV, Eck J. Become a Problem Solving Crime Analyst in 55 Small Steps. Jill Dando Institute of Crime Science, University College, London (2003).

<http://www.popcenter.org/library/reading/pdfs/55stepsUK.pdf>

33) Clark RV. Opportunity makes the thief. Really? And so what? *Crime Science* 2012, 1: 3-12. <http://www.crimesciencejournal.com/content/pdf/2193-7680-1-3.pdf>

34) Ribaux O, Taroni F, Margot P. La recherche et la gestion des liens dans l'investigation criminelle : une étape vers l'exploitation systématique des données de police. *Revue internationale de criminologie et de police technique*. 1995 ; 48 : 229-42.

35) Ribaux O, Margot P. Inference Structures for Crime Analysis and Intelligence : the Example of Burglary Using Forensic Science Data. *Forensic Science International*. 1999 ; 100 : 193-210.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.132.6188>

36) Ribaux O, Margot P. Case Based Reasoning in Criminal Intelligence Using Forensic Science Data. *Science and Justice*. 2003 ; 43 : 135 - 43.

https://www.researchgate.net/publication/9081289_Case_based_reasoning_in_criminal_intelligence_using_forensic_case_data

37) Ribaux O, Girod A, Walsh SJ, Margot P, Mizrahi S, Clivaz V. Forensic Intelligence and Crime Analysis. *Law, Probability and Risk*. 2003 ; 2 : 47 - 60.

<http://lpr.oxfordjournals.org/content/2/1/47.full.pdf>

38) Ribaux O, Crispino F, Roux C. Forensic Intelligence : Deregulation or Return to the Roots of Forensic Science? *the Australian Journal of Forensic Sciences on forensic intelligence*. 2015 ; 47 (1) : 71-71

https://www.researchgate.net/publication/262361593_Forensic_intelligence_deregulation_or_return_to_the_roots_of_forensic_science

39) Bruenisholz E., Delémont O., Ribaux O., L'intelligence-led policing: un cadre pertinent pour soutenir la lutte contre les incendies volontaires récurrents. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*. 2014 ; 67(2) : 204-25

http://serval.unil.ch/?id=serval:BIB_641E8DCD1362

40) Thompson WC. What role should investigative facts play in the evaluation of scientific evidence? *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2011 ; 43 (2-3) : 123-134.

http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FWilliam_Thompson14%2Fpublication%2F228212929_What_Role_Should_Investigative_Facts_Play_in_the_Evaluation_of_Scientific_Evidence%2Flinks%2F0f317539e197a6da0e000000.pdf&ei=EuPIVP0mheNq5qCA-As&usq=AFQjCNEZTreSWoPvxqGSZqOjBYpAEpDlBQ&bvm=bv.85970519,d.d2s

41) Marclay F, Jan N, Esseiva P, Mangin P, Margot P, Saugy M, Le changement de paradigme du Renseignement Forensique pour la lutte contre le dopage organisé et le trafic de substances interdites. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*. 2013 ; 66 (4) : 451-72.

http://serval.unil.ch/?id=serval:BIB_740B6C35468F

- 42) Grossrieder L, Albertti F, Stoffel K, RIBAUX O. Des données aux connaissances, un chemin difficile: réflexion sur la place du data mining en analyse criminelle. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*. 2013 ; 1/13 99-116
<https://libra.unine.ch/export/DL/18542.pdf>
- 43) Hazard D, Margot P, Ribaux O. Pertinence de la trace: étude théorique et perspectives expérimentales *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*. 2011 ; 64 (3) : 341-74.
http://serval.unil.ch/?id=serval:BIB_99CCA32A57D8
- 44) Corazza D., Esseiva P., L'apport de la trace matérielle dans l'enquête criminelle: évaluation de la contribution des liens chimiques issus du profilage de produits stupéfiants par l'analyse des réseaux sociaux. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*. 2013 ; 66 (3) : 341-63.
http://my.unil.ch/serval/document/BIB_178FCACC311D.pdf
- 45) Esseiva P. Le profilage de l'héroïne et de la cocaïne: mise en place d'une systématique permettant une utilisation opérationnelle des liens chimiques. PhD en science forensique thesis, Université de Lausanne, Lausanne (2004).
- 46) Guéniat O, Esseiva P. Le profilage de l'héroïne et de la cocaïne. Une méthodologie moderne de lutte contre le trafic illicite. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne V.
- 47) Dujourdy L, Besacier F. Headspace profiling of cocaine samples for intelligence purposes *Forensic Science International*. 2008 ; 179 (1-3) : 111-122
[http://www.fsijournal.org/article/S0379-0738\(08\)00199-0/abstract](http://www.fsijournal.org/article/S0379-0738(08)00199-0/abstract)
- 48) Erne E, Michelet M, Rossy Q, Esseiva P, Delémont O. Analyse de montres contrefaites possédant un bracelet parfumé : démarche de détection des composés volatils et vecteur d'information sur le phénomène. *Revue Internationale de Criminologie et de Police Technique et Scientifique*. 2014 ; 67 (1) : 98-118.
http://my.unil.ch/serval/document/BIB_26B12BC8BE77.pdf
- 49) Biedermann A, Vuille J, Taroni F. Apprécier le risque d'erreur lors d'une analyse ADN: de la nécessité d'être concret. *Aktuelle juristische Praxis (AJP) = Pratique juridique actuelle (PJA)*. 2013 ; 8 : 1217-23.
http://serval.unil.ch/?id=serval:BIB_410E9E11378B
- 50) Rossy Q, Ribaux O. La conception de schémas relationnels en analyse criminelle: au-delà de la maîtrise des outils. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*. 2012 ; 65 (3) : 345-362
https://www.researchgate.net/publication/235725657_La_conception_de_schmas_relationnels_en_analyse_criminelle_au-del_de_la_matrise_des_outils

Chapitre 4. Autopsie et identification des squelettes

J-P. Campana

1. Introduction

L'autopsie judiciaire a pour but de déterminer les causes et les circonstances d'un décès. Elle peut aussi avoir pour but d'identifier un cadavre méconnaissable (détérioré par une catastrophe, un attentat, une putréfaction avancée, une carbonisation partielle). Dans le cas de recherches des causes et des circonstances de la mort, elle doit être rigoureusement complète. Ses règles opératoires et leur harmonisation européenne ont fait l'objet en 1999, au Conseil de l'Europe, d'une recommandation N° R (99) du comité des ministres aux Etats membres.

2. L'autopsie judiciaire [1]

2.1. Conditions préalables

- Les autopsies judiciaires doivent être réalisées dans les plus brefs délais, les corps en attente devant être conservés en chambre froide.
- Le cadavre ne doit pas faire l'objet de soins de conservation (thanatopraxie) avant les opérations d'autopsie (*les perforations par trocart pour drainage cardiaque et injection de liquide conservateur dans le système artériel modifiant l'état du corps*).
- Il importe de prendre toutes les mesures d'hygiène afin de protéger le personnel contre tout risque de contamination par agents pathogènes.
- Documents indispensables avant l'autopsie : la mission, les procès-verbaux de l'enquête judiciaire et, en cas d'intervention chirurgicale, le compte rendu opératoire.
- Les armes, liens, médicaments ou produits en cause dans la mort seront aussi présentés à l'expert. En cas de submersion, un échantillon de l'eau de noyade doit être apporté par l'enquêteur, et joint aux prélèvements de l'autopsie.

2.2. Examen externe

L'examen externe est primordial et représente souvent la plus grande partie de la durée des opérations et se fait avant tout lavage du corps. Le cadavre est examiné nu sur la table d'autopsie.



Fig. 1. Une salle d'autopsie.
Les principaux outils



Fig. 2. Une salle d'autopsie.
Les principaux gestes.

On décrit :

2.2.1. Les éléments signalétiques

Les éléments signalétiques (même si le corps est identifié) : sexe, couleur de la peau, âge apparent, poids et taille (mesurés), musculature, pilosité, état dentaire ; et éventuellement : prothèse, pacemaker, cicatrices accidentelles, cicatrices chirurgicales, tatouages, amputation, malformation, cal osseux, dermatose.

2.2.2. Les phénomènes cadavériques

Ce sont tout d'abord les lividités (dites aussi « taches de position » cutanées car elles indiquent la position du corps au moment de la mort), leur topographie et la rigidité musculaire.



figure 3 : Lividités

La tache verte abdominale et la tache scléroticale (*coloration noirâtre de la sclérotique*), signent la putréfaction débutante...

2.2.3. Les lésions traumatiques externes :

2.2.3.1. Les signes de réanimation

Ces signes peuvent être des injections intraveineuses, des lésions de massage cardiaque externe ou de défibrillation, ou des plaies de drainage (*incision chirurgicale de ponction évacuatrice de sang collecté*).

2.2.3.2. Les lésions par agent externe violent

- par chocs : excoriation, ecchymose, fracture ;
- par asphyxie mécanique : cyanose de la face, pétéchies conjonctivales, excoriation de la face et du cou, sillon cervical, trace de ligotage ;
- par arme blanche : plaies et leur localisations anatomiques ; leurs mesures.
- par arme à feu : plaies d'entrée et de sortie, leurs dimensions, leurs coordonnées par rapport à l'axe du corps ;
- par brûlure ou électrocution : leurs surfaces en pourcentage du corps ; leurs degrés de profondeur.

2.2.4. *Autres observations diverses*

On peut observer la présence sur le corps de taches, de salissures ou cambouis, de particules physiques (éclat de verre, terre, tissus) ...

2.3. **Prélèvements**

Les prélèvements sont faits selon les données de l'enquête :

- écouvillonnage des cavités naturelles par tige de coton ouatée à la recherche de sperme (buccal, rectal, vaginal) ;
- prélèvements cutanés pour recherche de l'agent inflammable en cas de brûlure criminelle.

2.4. **Examen radiologique**

L'examen radiologique est systématique en cas de :

- blessure par arme à feu pour localiser le(s) projectile(s) avant l'autopsie ;
- maltraitance de l'enfant à la recherche de fractures anciennes ;
- carbonisation ;
- recherche en vue d'identification.

2.5. **Examen interne**

Quatre temps opératoires sont obligatoires même si le corps est en voie de putréfaction ; ils peuvent se résumer ainsi :

2.5.1. *Temps tégumentaire*

Le médecin légiste pratique des incisions cutanées, longues, multiples et parallèles ("crevées" des auteurs anciens) sur la nuque, la face dorsale du corps, l'espace scapulo-thoracique et les membres, à la recherche d'ecchymoses ou d'hématomes profonds

2.5.2. *Temps thoraco-abdominal et pelvien*

L'opérateur doit exécuter les gestes techniques suivant dans l'ordre :

- Incision médiane du menton jusqu'au pubis.
- Ouverture de l'abdomen.
- Section et ablation du plastron sterno-costal.
- Inspection dans leur cavité des viscères thoraciques, abdominaux et pelviens.
- Extraction et pesée des viscères.
- Dissection des poumons, du cœur, du foie, du pancréas, de la rate, des reins et des glandes surrénales, de la vessie et de la prostate, des organes génitaux féminins et du rectum.
- Ouverture de l'aorte thoraco-abdominale qu'on détache du plan vertébral.
- Vérification de la paroi thoracique, des vertèbres et du bassin après incision des psoas.
- **La dissection des viscères est essentielle :**
 - dissection de l'arbre artériel pulmonaire à la recherche d'embolies cruroriques, c'est-à-dire par caillots sanguins ;

- dissection du cœur à la recherche de thrombose des coronaires, d'infarctus du myocarde, de fibrose (*cicatrice*) du myocarde, d'hypertrophie du ventricule gauche, de dysplasie (*infiltration graisseuse*) ventriculaire droite, toutes, causes de mort subite. Le cœur doit être précisément pesé et l'épaisseur du ventricule gauche précisément mesurée.
- Les épanchements sanguins dans le thorax, le péricarde ou le péritoine seront pesés.

2.6. Temps cervical

Au cours de cette phase, il doit être procédé au décollement des plans cutanés et à leur rabat de part et d'autre de la ligne médiane puis l'opérateur pratique une section circulaire du plancher buccal au ras de la mandibule, du voile du palais et du pharynx jusqu'au plan vertébral. Il sectionne ensuite les amarres extérieures du larynx (muscles et pédicules vasculo-nerveux) afin d'extraire le bloc langue-médiastin cervical en laissant en place les carotides. Celles-ci sont ensuite ouvertes. Enfin on vérifie les vertèbres cervicales et on dissèque le larynx et de l'os hyoïde.

2.6.1. Temps céphalique

Le médecin légiste pratique une incision du cuir chevelu, d'une mastoïde (*base triangulaire de l'os temporal placé derrière l'oreille*) à l'autre en passant par le vertex (*point culminant de la voûte du crâne*) et le rabat jusqu'au rebord orbitaire et jusqu'à l'occiput. Il procède ensuite aux opérations suivantes :

- Ouverture du crâne par sciage circulaire de la calotte.
- Extraction du cerveau après section des nerfs crâniens, des artères cérébrales et du bulbe.
- Désinsertion de la dure-mère.
- Examen de la base du crâne.
- Pesée.
- Inspection et dissection du cerveau.

Les hémorragies du cerveau sont évidentes à l'inspection. Mais il convient d'avertir le juge que seule une étude microscopique après fixation d'un mois en solution formolée permet une analyse fine des lésions. Cette méthode est indispensable dans le cas des enfants maltraités car elle permet de mettre en évidence de petites lésions traumatiques anciennes et des ruptures axonales (non visibles à l'œil nu mais seulement au microscope optique).

2.6.2. Restauration du corps

L'autopsie terminée, le corps est suturé et restauré « de façon décente », c'est-à-dire respectueuse du corps et essayant de le restituer dans son aspect initial ; les pacemakers sont obligatoirement retirés des corps ([code de la santé publique- Art. L671-11](#)).

2.7. Techniques spéciales

Ces techniques s'imposent en cas de recherche particulière

2.7.1. La découverte du masque osseux :

Elle consiste à détacher le masque facial du plan osseux en évitant toute plaie de scalpel. Elle est indiquée en cas de recherche de violence faciale avec ecchymoses sur le masque osseux et suspicion de syndrome asphyxique notamment par étouffement par oreiller par exemple.

2.7.2. Éviscération totale du petit bassin

L'éviscération totale du petit bassin chez la femme (voire chez l'homme) se justifie en cas de viol et de blessures génitales profondes ou rectales par intrusion criminelle de corps étrangers, ou par coup de lame. Cette opération permet l'examen des viscères internes et organes génitaux externes ainsi que des prélèvements tissulaires et des écouvillonnages destinés aux laboratoires.

2.7.3. Extraction de la moelle épinière

Il s'agit de l'ouverture du canal rachidien par section des arcs postérieurs vertébraux sur toute la longueur du rachis pour extraction de la moelle ; elle est indiquée en cas de recherche de lésion médullaire (sa section entraîne une paralysie immédiate d'un ou des membres selon son niveau).

2.7.4. Recherche de l'embolie gazeuse

La recherche de l'embolie gazeuse se pratique par ouverture du cœur effectuée dans la cavité péricardique remplie d'eau. Elle se traduit par un bref bouillonnement.

2.7.5. Autopsie du nouveau-né

En cas d'autopsie d'un nouveau-né, on recherche :

- les lésions traumatiques,
- les malformations,
- les signes pulmonaires de respiration et
- les signes de naissance à terme
 - (point d'ossification de Bécclard à l'extrémité inférieure du fémur,
 - présence des alvéoles dentaires sur l'hémi-maxillaire inférieur).
- Les signes de néo-natalité qui sont :
 - le vernix caseosa (substance grasse recouvrant le corps du nouveau-né),
 - le poids et la taille (50 cm et 3 000 g en moyenne),
 - la présence de méconium dans le colon (matière brunâtre évacuée dans les deux ou trois premiers jours de la vie).

On doit prélever aussi une portion du cordon ombilical (et la partie sectionnée) et le placenta. (Ses anomalies peuvent expliquer un accouchement prématuré ou une mort in utero).

2.8. Prélèvements

Certains sont effectués systématiquement, d'autres selon les besoins de l'enquête, tous doivent être conservés dans des flacons hermétiquement clos, très soigneusement étiquetés et gardés au froid (il existe un consensus national, voire européen, sur ce point, voir au chapitre toxicologie).

2.8.1. Prélèvements aux fins d'expertise anatomo-pathologique

Ils sont constitués d'un échantillon de quelques cm³ de tous les viscères et des lésions pathologiques conservés en solution formolée. Chez l'enfant et le nourrisson, on prélève aussi des portions de duodénum, jéjunum et iléon. (L'intestin étant physiologiquement essentiel dans le développement du nourrisson). Si besoin, le cœur, le cerveau et le larynx sont prélevés entiers. Les viscères entiers doivent être rincés et conservés en solution formolée à 10% dans une quantité égale à 5 fois leur volume.

En cas de suspicion de maltraitance, les globes oculaires et les nerfs optiques (essentiellement chez l'enfant) doivent être prélevés, pour recherche d'hémorragies conjonctivales caractéristiques du syndrome des « enfants secoués ». Ce prélèvement ne présente pas d'intérêt chez l'adulte.

2.8.2. Prélèvements en vue de l'expertise toxicologique

Ils comprennent :

- deux flacons de sang cardiaque et deux flacons de sang périphérique (fémoral) ;
- des échantillons en flacons séparés de foie, de cœur, d'encéphale, de poumons (ceux-ci en important volume en cas de suspicion de toxiques volatils (ce flacon doit, encore plus que les autres, être rigoureusement hermétique) ;
- un échantillon de contenu gastrique ;
- des échantillons de bile et d'urine ;
- un échantillon de cheveux (une centaine de cheveux coupés au ras du scalp et non souillés représentant serrés, environ le diamètre d'un crayon et délimité par un cordon de couleur à la partie proche du scalp pour indiquer le sens de la pousse) ;
- un échantillon d'humeur vitrée

2.8.3. Prélèvements pour recherche bactériologique

Suivant les cas, on prélève soit un échantillon de liquide céphalo-rachidien (pour la recherche par exemple d'une méningite microbienne), soit des matières intestinales (en cas de diarrhée aiguë grave). Ces deux types de prélèvements sont les plus utilisés même si en pratique d'autres prélèvements sont possibles.

2.8.4. Prélèvements de corps étrangers et divers

Il peut s'agir de projectiles ou d'objets insolites. Les plaies observées au niveau de l'entrée de ces corps étrangers peuvent être également utilement prélevées à des fins d'analyses. Il en est de même des écouvillonnages divers en vue de la recherche de sperme, de drogues et autres toxiques...

2.8.5. Prélèvements pour recherche d'empreintes génétiques

Tout prélèvement tissulaire disponible peut être conservé en congélation (en cas de cadavre putréfié, on prélève un fragment d'os long, fémur par exemple).

2.9. Examen radiologique

S'il a été effectué, il faut transcrire le compte rendu radiologique du radiologue qui informe sur toute anomalie constatée : osseuse, présence d'une prothèse, de projectiles ou de corps étrangers.



Figure 4 trajectoire de projectile

2.10. Dossier photographique

Si un dossier photographique a été effectué, le nom de l'OPJ photographe doit être précisé. En cas de blessures par arme à feu, des photos montreront les trajets des projectiles dans le corps à l'aide de baguettes métalliques

2.11. Rédaction du rapport médico-légal

Elle comprend impérativement les points suivants :

2.11.1. *Le rappel de la mission...*

Le rappel de la mission (réquisition du procureur ou ordonnance du juge d'instruction), la date et le lieu de son exécution, le nom et la qualité des personnes présentes (magistrats et /ou O.P.J), la transcription de l'étiquette d'identification du cadavre scellée à sa cheville.

2.11.2. *L'exposé de toutes les données*

Ces données sont celles de l'examen externe et celles obtenues lors des quatre temps opératoires de l'autopsie. Le degré de détail de la description des lésions est sélectionné selon le problème abordé.

2.11.3. *Une discussion*

Le chapitre discussion doit comprendre :

- les renseignements de l'enquête policière ;
- l'essentiel des données de l'autopsie ;
- la synthèse ;
- la conclusion.

2.11.4. *Les prélèvements effectués*

- soit pour exploitation immédiate et signalée au juge comme nécessaire ;
- soit par mesure conservatoire, c'est-à-dire par précaution donc pouvant être utiles ultérieurement.

Date et signature de l'expert.

3. Identification des cadavres

Elle nécessite souvent une approche multidisciplinaire associant médecins légistes, dentistes, radiologues, voire histologistes. Nous distinguerons deux situations, celle où les cadavres sont complets et celle où ils sont incomplets.

Le premier cas se subdivise en deux : l'identité est supposée ou bien elle est strictement inconnue.

3.1. Identification d'un cadavre dont l'identité est supposée

Hormis le cas où la reconnaissance visuelle est possible (photos ou témoignage des proches), et donc peut suffire, seront utilisés les moyens suivants :

- Les empreintes digitales ; ce candidat à l'identification a pu avoir ses traces relevées par l'identité judiciaire ; mais on peut aussi les comparer avec celles qu'il a pu laisser à son domicile sur des objets familiers.
- La comparaison avec les fiches de soins dentaires ; c'est la solution la plus simple et la plus fiable car toute denture est unique.
- La comparaison de radiographies anciennes (sinus, image thoracique, colonne lombaire, bassin) avec celles que l'on effectue sur le cadavre.
- La mise en évidence à l'autopsie de particularités anatomiques : cholécystectomie, hystérectomie... (ablation chirurgicale d'organes : vésicule biliaire, utérus, estomac, poumons, etc.), trépanation, séquelles de fracture, prothèse métallique, etc...
- La comparaison des empreintes génétiques du cadavre avec celles de ses parents génétiques ou de ses descendants (voir « Empreintes génétiques »).

3.2. Identification d'un cadavre strictement inconnu

On procède aux opérations successives suivantes :

3.2.1. L'évaluation de l'ancienneté du cadavre

Elle peut être approximativement estimée si le corps n'est que putréfié. Celle du squelette est beaucoup plus problématique. Citons la méthode par la recherche de la fluorescence sous UV : si elle est absente, le squelette date probablement de plus de 50 ans.

3.2.2. La détermination de la race

Aucun critère phylogénétique n'est actuellement disponible. Seul le recours aux différences macroscopiques anthropologiques est possible. Il existe trois grands types raciaux anatomiquement bien distincts par leur crâne : le mongoloïde, le caucasoïde et le négroïde. Mais les métissages, surtout en Europe, ont été très nombreux.

3.2.3. La détermination du sexe

La détermination du sexe qui pose problème lorsque l'analyse concerne un squelette ou des fragments humains, se fonde principalement sur l'étude de la symphyse pubienne (c'est l'articulation antérieure du bassin, entre les os iliaques, faite de tissu fibro-cartilagineux ; son aspect est plus large et épais chez la femme) et de son angle pubien ainsi que celle de la grande échancrure sciatique et de l'articulation sacro-iliaque (au niveau du bassin). Pour les adultes, ces critères permettent d'obtenir un diagnostic dans 90% des cas.

3.2.4. La détermination de l'âge

Les difficultés sont différentes selon les âges de la vie. Chez l'enfant de moins de 10 ans, l'étude du développement dentaire permet une grande précision.

Chez l'adolescent jusqu'à 20 ans, on se base essentiellement sur l'apparition et le stade de fusion des épiphyses (*cartilages de conjugaison*). On étudie celles de la partie distale du radius, de la crête iliaque antérieure et de l'extrémité interne de la clavicule.

Chez l'adulte, le diagnostic repose sur l'étude macroscopique de la symphyse pubienne, l'étude radiologique du plastron sternal et l'étude dentaire.

Eric Baccino a démontré que le meilleur rapport « précision de l'estimation/simplicité de réalisation » est obtenu par la combinaison de deux critères selon une procédure en deux étapes (Two step procedure ou TSP de Baccino).

- pubis (selon la technique de Suchey-Brooks) et
- dent (selon la technique de Lamendin)

Le premier critère est osseux. Dans leur examen macroscopique Suchey et Brooks décrivent six phases d'aspect différent en fonction de l'âge.

La méthode de Lamendin est fondée sur la translucidité radiculaire de la racine dentaire et sur la hauteur de la périodontose (mesure de l'espacement entre jonction cément/émail et la ligne d'attache des tissus mous correspondant à la rétraction de la gencive). Ces deux variables sont exprimées sous la forme d'un quotient dont le dénominateur est la longueur de la racine.

La réalisation de cette technique nécessite une dent monoradiculaire intacte. L'âge est calculé selon la formule suivante :

$$A = 18 \times Hp/Hr + 42 \times Ht/hr$$

dans laquelle :

- l'âge A est exprimé en années
- Hp est la hauteur périodontose
- Hrf la hauteur de la racine
- Ht la hauteur de la translucidité

La TSP de Baccino consiste d'abord à examiner les pubis pour déterminer le sexe puis la phase d'âge. S'il s'avère qu'il s'agit d'une des trois premières phases du système Suchey-Brooks (I, II, III), l'âge est estimé uniquement par référence à cette méthode. S'il s'agit d'une autre phase (IV, V, VI), la méthode de Lamendin est alors appliquée seule [2].

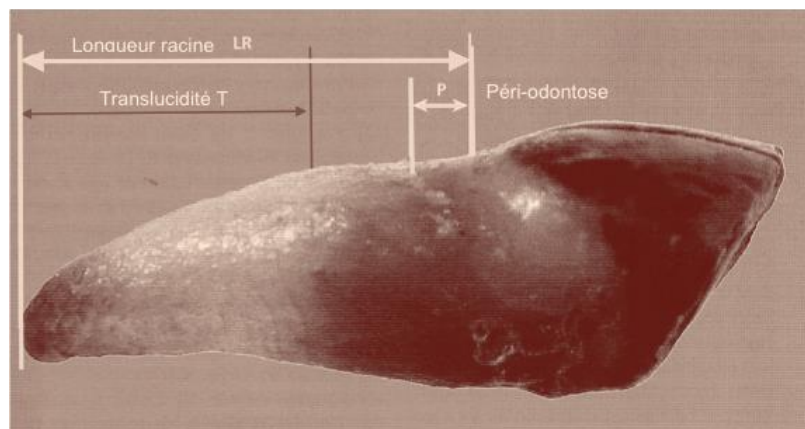


Figure 5 : Méthode de Lamendin d'après [2].

3.3. Identification de restes humains

Les difficultés varient en fonction de la nature des os et de leur nombre.

- Le diagnostic de sexe est relativement facile si l'on dispose d'un crâne complet, d'un bassin ou d'une symphyse pubienne.
- Le diagnostic d'âge est relativement facile si l'on dispose d'un maxillaire avec dents ou d'un sternum (*même isolé*).
- Le diagnostic de taille est facile si l'on dispose d'os longs complets du membre inférieur et d'une colonne lombaire. On peut alors appliquer la formule de Fully [3], à la précision satisfaisante.

- Stature = 2,09 (fémur + 5 lombaires) + 42,67 + K 2,35
- Stature = 2,32 (tibia + 5 lombaires) + 48,63 + K 2,54
- le paramètre K a été établi empiriquement.

4. Conclusion

L'autopsie médico-légale est une opération complexe qui doit se faire selon la stricte observance d'un protocole opératoire précis. Sa contribution à l'information judiciaire dépend non seulement de la qualité de sa technique de la pertinence de la discussion et des conclusions de son rapport mais aussi des examens anatomo-pathologiques, toxicologiques et de police scientifique qui la compléteront.

5. Bibliographie

- 1) Campana JP. – Chapitre 20- Autopsie Judiciaire. Principes de médecine légale sous la coordination de Jean-Pierre Campana - Arnette, Paris 2010 : 269-275.
- 2) Baccino E. et Martrille L. - Techniques et méthodes pour l'identification des cadavres - Principes de médecine légale sous la coordination de Jean-Pierre Campana - Arnette, Paris 2010 - 277-283.
- 3) Fully G -Ostéoanthropométrie - chapitre 38 - Médecine légale - Dérobert L - Flammarion - Médecine Sciences - Paris 1974 - 998-999.

Chapitre 5. Expertise toxicologique médico-légale.

Les poisons recherchés et les outils de l'expert

I. Ricordel
N. Milan, P. Sibille, B. Devos

1. Introduction

Depuis les temps les plus anciens, on a rapporté l'emploi des poisons à des fins criminelles. Ninus, roi d'Assyrie, n'aurait-il pas été empoisonné pour lui succéder par son épouse Sémiramis (1000 ans av. J.-C.) ? Plus tard Locuste à la solde de Néron n'exerçait-il pas la profession alors légale d'empoisonneur ? Des savants, peu nombreux jusqu'au seuil de notre histoire contemporaine, ont excellé dans la connaissance des poisons : l'œuvre importante du médecin Indien Shânak¹ du 4^{ème} siècle avant notre ère, composée de cinq livres : « Tous les poisons », « Les façons de les détecter », « Les signes sur les liquides et les vêtements », « Les symptômes » et « Les antidotes », mérite d'être citée car elle reste une des rares à s'être préoccupée de leur détection. Ecrite en sanscrit, traduite en Pehlevi² puis en arabe pour le Calife al-Ma' mûn en 813 [1], elle est restée malheureusement méconnue. En effet, en dépit d'œuvres majeures du 11^{ème} et 12^{ème} siècles comme celle d'Avicenne (une partie du Qanûn est consacrée aux poisons) ou le « livre sur les poisons » de Maïmonide, l'Occident, sur le sujet, doit attendre longtemps avant qu'une science analytique des poisons se profile.

On peut en juger par la lecture du rapport reproduit par Jules Ogier en 1899 dans son traité de chimie toxicologique et qui est de la plume de l'expert chimiste apothicaire Guy Simon adressé à Nicolas de la Reynie lors de l'affaire des poisons qui agite Paris et la Cour de Louis XIV de 1660 à 1682 entre l'affaire de la Brinvilliers et celle qui inquiéta Madame de Montespan.

« ... Il a d'abord versé quelques gouttes de liqueur des fioles dans l'huile de tartre et il ne s'est rien précipité au fond des vaisseaux ; il a mis un peu de liqueur dans un matras sur sable, et il n'a trouvé aucune matière acide, ni dure à la langue, et presque point de sels fixes. Puis il a empoisonné un pigeon, un chien, un poulet d'Inde et les ayant ouverts, il n'a rien trouvé qu'un peu de sang caillé au ventricule du cœur. De la poudre déposée par la liqueur, il en a donné à un chat sur de la fressure de mouton. Le chat vomit pendant une demi-heure et fut trouvé mort ! Conclusion : C'est un poison terrible, diabolique, insaisissable ... Ce poison artificieux se dérobe aux recherches que l'on en veut faire. Il est si déguisé qu'on ne peut le reconnaître, si pénétrant qu'il échappe à la capacité des médecins. Sur ce poison, les expériences sont fausses, les règles fautives, les aphorismes ridicules. Les expériences les plus sûres et les plus communes se font par l'eau, le feu et sur les animaux. Le poison de Sainte-Croix a passé par toutes ces épreuves et se joue de toutes les expériences. Ce poison nage sur l'eau. Il se sauve de l'expérience du feu où il ne laisse qu'une matière douce et innocente. Dans les animaux, il se cache avec tant d'art et d'adresse qu'on ne peut le reconnaître. ». Ce poison est l'arsenic.

L'édit que promulgue le roi en 1682 et qui punit de la peine capitale les auteurs de « maléfices, empoisonnements » ... en précisant qu'il faut comprendre comme empoisonnement, l'usage de « poisons violents

¹ Shânak Cânakya (ou Sânaq), médecin et ministre du roi indien Candragupta (315-291 av. J.-C.). Son livre décrit les poisons et comment les détecter « en les voyant, en les touchant ou en discernant les symptômes qui apparaissent quand leur matière était goûtée ou avalée ou atteignait l'estomac ». Il développe aussi en détail les signes curieux des nourritures ou breuvages empoisonnés, des fruits secs ou frais et des vêtements, tapis ou lits empoisonnés comme pouvaient être aussi empoisonnés les lotions, (adhâns) et collyres. Il mentionne une thériaque contre tous les poisons et les morsures de serpents ainsi que les drogues qui tiennent en éveil, les somnifères et les drogues anesthésiantes...

² Pehlevi : persan original.

mais aussi » de « ceux qui altèrent la santé, causent des maladies, ... », est, de ces affaires, la conséquence utile qui bouleverse la législation sur les poisons et qui, selon François Chast, donne à l'expertise en toxicologie sa première justification judiciaire [2].

Peu de progrès ont été faits depuis les goûteurs, méthode efficace mais pas très scientifique, toutefois très utilisée au Moyen Age et même après. On sait qu'au sacre du roi Louis XII, la psychose de l'empoisonnement était telle que le prêtre qui officiait dût goûter l'hostie placée sur un plateau d'argent avant le souverain. Postérieurement, les analystes ont longtemps été réduits à l'observation des réactions d'animaux auxquels on administrait les produits suspects d'avoir empoisonné ou des parties du corps ou des viscères des cadavres suspects de l'avoir été.

Les premières avancées techniques ne se font jour qu'au 18^e siècle en relation avec les découvertes fondamentales de la chimie avec Rey, Bayen, Lavoisier, Priestley, Scheele, Cavendish, ...

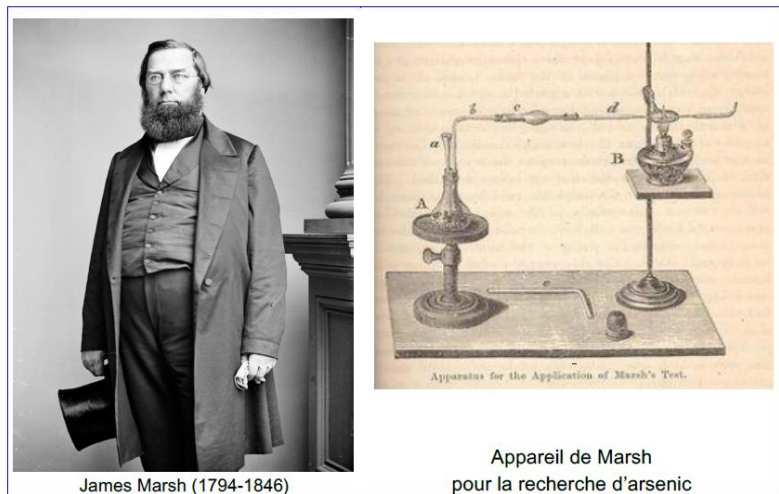
Orfila enrichit sensiblement la connaissance toxicologique par son traité des poisons ou toxicologie générale en 1813 puis Tardieu et François Zaccharie Roussin quelques décennies plus tard inaugurèrent la toxicologie médico-légale moderne expérimentale et pharmacologique (Etude médico-légale et clinique de l'empoisonnement, 1867).

Il faut attendre 1836 pour que le médecin et chimiste anglais James Marsh invente une méthode de recherche de l'arsenic³, toujours et plus que jamais le poison le plus en vogue. Il est au centre d'affaires célèbres, d'abord l'affaire Lafarge en 1840 (3) puis l'affaire Marie Besnard (4) qui a défrayé la chronique durant 14 années de procédure judiciaire entre 1947 et 1961. Mais la technique vedette tout en subissant certaines évolutions est bien longtemps esulée.

Après une avancée au début du 20^{ème} siècle, due à Stass, Otto et Ogier qui mettent au point un procédé d'extraction des toxiques à partir des milieux biologiques d'autopsie encore d'actualité aujourd'hui, les progrès sensibles attendent les années 80 avec l'avènement des microprocesseurs au service des techniques fines d'analyses séparatives.

On voit se perfectionner, tour à tour, les innovations balbutiantes des années 50 encore mal adaptées à l'expertise toxicologique pendant 30 ans notamment, l'absorption atomique et la chromatographie.

En revanche les trois dernières décennies ont grandement profité à la toxicologie médico-légale notamment dans le cadre délicat de la recherche des causes de mort suspecte pour lequel elle peut constituer un outil diagnostique essentiel. Examen souvent complémentaire de l'autopsie, la toxicologie analytique est incontournable dans le diagnostic de mort toxique. La tâche de l'analyste consiste alors à identifier et quantifier toute substance à action pharmacologique ou toxique dans les prélèvements réalisés lors de l'autopsie par le médecin légiste qui ne subodore l'intoxication qu'en présence de signes d'orientation non spécifiques : syndrome asphyxique avec congestion poly-viscérale.



³ Le principe de l'appareil de Marsh consistait en une transformation chimique de l'arsenic en gaz hydrogène arsénié qui se dégage dans ce tube et libère l'arsenic métalloïdique par chauffage intense et ponctuel. En refroidissant par l'eau immédiatement après la zone de chauffage, l'arsenic se dépose en formant un anneau argenté brillant qui se ternit avec le temps.

2. Pharmacologie et métabolisme des xénobiotiques ou bases indispensables à l'expertise toxicologique

L'analyse toxicologique ne peut s'entendre que si l'on comprend les mécanismes de transit des xénobiotiques⁴ dans le corps humain qui ont pour objet de les rendre atoxiques et de les éliminer. Ces processus relèvent de la *pharmacologie* ou du *métabolisme* des molécules constitutives et il est rare qu'un xénobiotique en sorte indemne. Généralement, il se forme des produits de dégradation (métabolites) plus hydrosolubles que la molécule initiale et ainsi plus facilement éliminable par voie biliaire ou urinaire. La formation de ces métabolites dépend du mode d'accès du xénobiotique dans l'organisme.

2.1. Pénétration, distribution et élimination

La pénétration (absorption) du xénobiotique dans l'organisme d'une victime, hautement dépendante de sa forme galénique (poudre, comprimé, solution injectable, pommade, suppositoire etc.) se fait par différentes voies dont l'incidence toxique varie. La voie intraveineuse (IV) constitue la référence du toxicologue car, contrairement aux autres voies, la totalité de la dose administrée atteint la circulation générale et l'intoxication est rapidement aiguë. Lors d'intoxications, les différentes voies d'administration sont, dans l'ordre de leur fréquence : orale ou per os, de loin la plus utilisée, inhalée ou respiratoire *rapidement toxique pour les xénobiotiques gazeux*, intraveineuse en bolus ou perfusion, nasale, sublinguale, rectale, intramusculaire (IM), dans un organe, sous-cutanée, cutanée ou transdermique, oculaire (collyre, aspersion etc.) ou in situ : intraoculaire, intrathécale.

La distribution tissulaire, c'est la diffusion du toxique dans l'organisme par solubilisation dans l'eau du plasma circulant (90 % du volume), fixation plus ou moins solide aux protéines laissant une partie libre active variable, difficilement individualisable cependant notamment chez la victime décédée. Il se disperse ensuite dans tous les organes et tissus, franchit ou non la barrière hémoméningée et peut se concentrer dans un organe particulier.

L'élimination, c'est la mise en œuvre des processus naturels de destruction du toxique par l'organisme (son métabolisme). En premier lieu le foie, grâce à de nombreuses enzymes, capte et transforme les toxiques ce qui les soustrait à la diffusion. C'est l'usine à détoxiquer. Le foie est souvent atteint en premier lors d'intoxications médicamenteuses. En second lieu, le rein filtre beaucoup de toxiques ou déchets de toxiques mais certains métaux lourds comme le plomb et le mercure s'incrémentent et l'altèrent.

2.2. Produits de transformation

L'expert toxicologue est donc amené à rechercher un toxique à travers les stigmates des nombreuses transformations qu'il a subies. Celles-ci sont dues à des enzymes qui se trouvent principalement dans le foie, mais aussi dans les poumons, l'estomac, l'intestin, la peau, les reins. Le foie est l'organe de passage obligatoire après résorption intestinale, c'est pourquoi il est l'organe informateur principal du toxicologue.

En règle générale, les biotransformations sont des processus de détoxification. Dans certains cas, cependant, elles aboutissent à des métabolites plus toxiques que la molécule mère ; il y a alors toxification ou bioactivation.

Les réactions de biotransformation sont dites de phase I quand elles concernent la molécule active. Elles sont dites de phase II lorsqu'elles touchent la conjugaison des molécules mères et celle des métabolites formés. Les deux phases sont des guides pour l'expert. Les premières sont principalement des réactions d'oxydation, de réduction et d'hydrolyse tandis que les secondes sont des réactions de conjugaison.

⁴ Xénobiotiques : substances étrangères à l'organisme vivant (médicaments, stupéfiants, toxiques...)

Les métabolites oxydés relèvent de l'action catalytique d'oxygénases, en particulier le cytochrome P450⁵. Les molécules mères fixent un atome d'oxygène ou perdent un atome d'halogène ou un groupement aminé (désamination oxydative). L'expert recherche des composés mono ou pluri-hydroxylés, époxydes (composés très réactifs) ou sulfoxydes⁶. Il recherche également des composés N-désalkylés ou O-désalkylés et des substances initialement soufrées mais dont le soufre est remplacé par un atome d'oxygène.

Les métabolites réduits sont peu nombreux et siègent principalement dans la flore bactérienne intestinale et requièrent aussi le cytochrome P450. L'analyste cherche des amines R-NH₂ issues de la réduction de dérivés nitrés R-NO₂ ou azoïques R-N=N-R⁷.

Les métabolites issus d'hydrolyses sont le fait d'estérases et d'amidases présentes dans les tissus et le plasma s'attaquant aux esters et aux amides ; par exemple l'acide acétylsalicylique (aspirine) est hydrolysé en acide salicylique et acide acétique.

L'inhibition ou l'activation de ces enzymes par certains xénobiotiques, voire par certains états pathologiques, peut conduire à des processus toxiques que l'expert doit prendre en compte.

Les métabolites conjugués sont hydrosolubles et, par suite, plus faciles à excréter. Cela justifie de rechercher ces composés en particulier dans l'urine où les molécules mères sont plus rares. Ils sont formés par *glucuroconjugaison*, *sulfoconjugaison*⁷, *méthylation*⁸, *acétylation*⁹, *aminoacide-conjugaison*¹⁰ et *glutathion conjugaison*¹¹. La glucuroconjugaison est de loin la plus fréquente. Elle correspond à la liaison du métabolite à l'acide glucuronique grâce à des enzymes contenues dans des microsomes hépatocytaires UDP-glucuronosyltransférases. Ces métabolites peuvent garder une partie de l'activité du produit parent, voire être plus toxiques que lui. Le toxicologue peut déduire de la présence de tels conjugués dans la bile que la molécule originale a une taille moléculaire supérieure à 155 UMA. En cas contraire, le glucuronide est excrété dans la bile. Il subit une hydrolyse et retraverse la muqueuse intestinale pour revenir au foie (*cycle entéro-hépatique*). Les médicaments concernés sont éliminés plus lentement. C'est le cas de la digitoxine et de certains anti-inflammatoires non stéroïdiens.

2.3. Éléments de pharmacocinétique ou toxicocinétique

Enfin, pour établir sa stratégie de recherche, le toxicologue doit connaître la pharmacologie, c'est-à-dire les effets et interactions des xénobiotiques sur l'homme, mais en outre se fonder sur les notions de pharmacocinétique et toxicocinétique qui résultent des phénomènes d'absorption, de distribution, de métabolisme et d'élimination des xénobiotiques.

La pharmacocinétique est l'étude descriptive et quantitative des paramètres qui influencent la vitesse d'élimination des médicaments de l'organisme. Lorsque les phénomènes s'exercent sur des médicaments à

⁵ Cytochrome P450, complexe multienzymatique spécialisé du réticulum endoplasmique de l'hépatocyte.

⁶ Ces dérivés peuvent être à leur tour substitués par un ou plusieurs groupements alkyl ou cycles aromatiques qui eux-mêmes peuvent être hydroxylés ou époxydés, hydroxylaminés...

⁷ Les xénobiotiques possédant des fonctions alcools, phénols ou amines aromatiques peuvent fournir des dérivés sulfoconjugués (R-OH+PAPS→R-O-Sulfate+PAP) par l'action du couple 3-phospho-adenosine-5'-phosphosulfate (PAPS)/sulfo-transférase cytoplasmique contenu dans le foie, le rein, l'intestin et le poumon. Ces métabolites sont généralement hydrosolubles et inactifs mais certains peuvent être très réactifs.

⁸ Il s'agit du transfert d'un méthyle sur certains composés hétérocycliques azotés (N-méthylation) ou phénoliques (O-méthylation) faisant intervenir des méthyltransférases et leur coenzyme S-adenosylméthionine. La méthylation augmente la liposolubilité. Ainsi, par exemple, de petites quantités de morphine peuvent se transformer en codéine sans que pour autant celle-ci ait été consommée.

⁹ Les molécules portant une amine primaire ou aromatique catalysée par des N-acétyltransférases et leur coenzyme acétylcoenzyme A (Acétyl-CoA) peuvent fournir *in vivo* des composés acétylés. Cette opération se fait plus ou moins rapidement selon les individus.

¹⁰ La conjugaison du groupement carboxylique d'un xénobiotique avec le groupement amine d'un aminoacide (glycine, glutamine, taurine) forme un amide.

¹¹ Sous l'action des glutathions-S-transférases (GST), le glutathion (GSH), tripeptide associant glutamine, cystéine, et glycofolle, forme avec certains xénobiotiques des composés hydrolysables et acétylables pouvant s'éliminer dans la bile ou l'urine au sein desquelles l'expert peut les détecter.

doses supra pharmacologiques ou sur des substances toxiques non médicamenteuses, on parle de toxicocinétique. Parmi les nombreux paramètres utiles à la compréhension d'une intoxication par rapport aux traces de médicaments ou métabolites détectées dans les milieux analysés, l'expert toxicologue doit recourir à la biodisponibilité, la clairance (CL), la demi-vie biologique (heures ou jours), le volume apparent de distribution (Vd en litres ou L/kg), les Tmax et Cmax, respectivement le temps maximum pour atteindre la concentration maximum d'un toxique.

La biodisponibilité doit être connue de l'expert car cette propriété permet d'estimer, selon la voie d'administration, la part de la dose absorbée qui atteint la circulation du sang. L'incompatibilité entre une teneur sanguine mesurée et la connaissance, résultant de l'enquête, de la quantité précise d'un médicament administré est une information qui peut être essentielle lors du jugement d'une affaire d'empoisonnement.

La clairance est la capacité d'épuration de l'organisme ou d'un organe. On l'exprime en ml/min comme étant le volume sanguin ou plasmatique totalement débarrassé de la substance par unité de temps, par métabolisme et élimination urinaire, biliaire, pulmonaire, cutanée, salivaire etc. Toute pathologie qui modifie une de ces fonctions, perturbe cette donnée. Le toxicologue n'est pas toujours en mesure de connaître ces facteurs d'influence lors d'une expertise sur des prélèvements d'autopsie. Cependant leur connaissance permet parfois de crédibiliser des teneurs mesurées, inattendues par rapport à des quantités connues de médicaments absorbés et de disculper un suspect d'un surdosage volontaire de médicaments.

La demi-vie est la durée écoulée pour que la moitié de la concentration sanguine ait disparu du sang. Même imprécis, ce paramètre est essentiel pour établir la cohérence entre un résultat d'analyse et la dose susceptible d'en être à l'origine. Celle-ci peut être consolidée par sa confrontation aux teneurs et demi-vies des métabolites détectés. Si tel n'est pas le cas, l'analyste peut être orienté vers de nouvelles recherches.

Le Vd est un volume fictif dans lequel serait dissoute la quantité administrée de substance active pour rendre compte de la concentration mesurée dans le sang. Il permet de savoir comment est distribué un xénobiotique dans le corps. Si Vd est faible (trois à quatre litres), cela veut dire que la substance active reste dans le compartiment sanguin et est peu distribuée dans les tissus. A l'inverse, un Vd important correspond à un produit fortement métabolisé ou fortement fixé ou séquestré dans les tissus. L'analyse compartimentale expérimentale vise précisément la répartition des xénobiotiques dans les différentes parties du corps, en particulier en fonction des pathologies rencontrées. Généralement disponibles dans les dossiers d'Autorisation de Mise sur le Marché ou dans la presse scientifique spécialisée, ces analyses constituent également une source permettant de mieux comprendre les teneurs mesurées par l'expert. Cependant chez les cadavres, des phénomènes de redistribution post-mortem compliquent l'interprétation de ces renseignements.

Les **Tmax et Cmax** sont les paramètres les plus facilement connus car souvent disponibles dans les banques de données : Vidal (5), Thériaque (6), Biam (7), etc. Ils constituent des outils précieux pour l'expert qui peut, par confrontation aux autres paramètres et teneurs mesurées, établir le caractère croissant ou descendant d'un toxique au moment de la mort d'une victime.

3. Substances recherchées par l'expert

Parmi les 2 à 300 000 toxiques à rechercher, il convient de faire un tri parmi les plus fréquemment mis en évidence par l'analyste. Les médicaments, soit par leurs doses exagérées, soit par leur mésusage, soit par leurs multi associations, occupent plus de 80 % de l'inventaire. Hormis l'alcool souvent présent conjointement à d'autres toxiques, et le monoxyde de carbone, le reste est constitué des substances stupéfiantes, des polluants notamment pesticides, des métaux, des toxiques gazeux ou volatils, des cyanures et dérivés, des métaux ou métalloïdes et leurs sels, des toxiques végétaux.

3.1. Les médicaments psychotropes

Ils agissent sur le système nerveux central en altérant les fonctions du cerveau, ce qui induit des modifications de la perception, des sensations, de l'humeur, de la conscience ou d'autres fonctions psychologiques et comportementales. Selon le type de modifications provoquées, on distingue :

- des modérateurs psychiques comprenant les neuroleptiques ou antipsychotiques, les hypnotiques ou médicaments de l'insomnie, et les anxiolytiques (tranquillisants) ;
- des stimulants psychiques comme les amphétamines stimulants de la vigilance et les antidépresseurs stimulant et régularisant l'humeur ;
- déviateurs ou perturbateurs de l'activité psychique parfois hallucinogènes et dépersonnalisants comme la kétamine, etc.

3.1.1. Les neuroleptiques

Les neuroleptiques comprennent les phénothiazines, les butyrophénones, les benzamides substitués, les thioxanthènes et trois composés originaux : loxapine, rispéridone et clozapine. Ils inhibent principalement les récepteurs de la dopamine mais interagissent également avec la noradrénaline, la sérotonine, l'histamine et l'acide gamma-aminobutyrique ce qui explique un grand nombre d'effets pharmacologiques dont beaucoup sont indésirables. Toutefois, ils n'entraînent pas de dépendance psychique. Globalement, ils mettent le système nerveux central au repos en exerçant une action sédatrice sans effet hypnotique, mais en réduisant l'excitation, l'agitation, et l'agressivité lors d'états maniaques ou de certaines psychoses aiguës et chroniques (tableau 1).

Effet prédominant	Neuroleptiques
Sédatif	Lévomépromazine, sultopride, dropéridol
Incisif (anti productif)	Thiopropérazine, triflupéridol, amisulpride
Intermédiaires ou polyvalents	Chlorpromazine
Améliorant certaines psychoses résistantes aux autres neuroleptiques avec effets extrapyramidaux moindres	Clozapine, loxapine, rispéridone, olanzapine, carpipramine, sulpiride, amisulpride.

Tableau 1 : Neuroleptiques selon leur effet prédominant.

Pharmacocinétique

Ils ont une biodisponibilité variable de 1 à 20 pour une même posologie. Leurs métabolites sont nombreux, parfois actifs ce qui implique leur quantification systématique, d'autant que leur demi-vie plasmatique est généralement longue. Cela explique qu'une seule prise quotidienne suffise et que l'effet, à l'arrêt d'un traitement, ne disparaît que progressivement en plusieurs jours ou semaines. Ceci doit conduire l'expert qui a détecté une teneur subtoxique à se poser quand même la question de sa participation au processus mortel d'une victime, d'autant que pour une concentration donnée de produit actif dans le sang, l'effet thérapeutique peut être très variable d'un sujet à l'autre (figure 1).

Toxicité

La toxicité des neuroleptiques commence par le risque du syndrome malin (fièvre, déshydratation, confusion, syndrome extra-

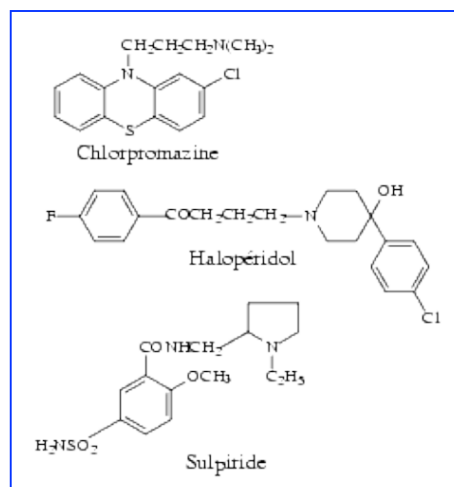


Figure n° 1: représentation des molécules de chlorpromazine, halopéridol et sulpiride

pyramidal¹², sueurs, tachycardie, hyper sialorrhée), rare mais gravissime (insuffisances respiratoire et rénale, choc, pronostic vital) et renchéri par leur association avec d'autres psychotropes mais exceptionnellement mortels.

Analytique

Les neuroleptiques et leurs métabolites peuvent être recherchés dans le sang (plasma ou sang total), l'urine, le liquide céphalorachidien, les tissus, les fèces, etc. après extraction organique en milieu alcalin. L'expert doit savoir que les immunotests EMIT caractérisant les antidépresseurs tricycliques peuvent donner des réponses positives avec certaines phénothiazines. On a recours à des méthodes associant séparations chromatographiques et identifications spectrales [8 ; 9] (voir paragraphe 4).

3.1.2. Les tranquillisants ou anxiolytiques et hypnotiques non stupéfiants

Famille de substances chimiques variables ayant pour but de réduire ou supprimer l'anxiété, elle est principalement représentée par les benzodiazépines, de loin les plus fréquemment détectées lors d'intoxications même si sa responsabilité directe dans la mort des victimes est rare.

3.1.2.1. Les benzodiazépines

Les benzodiazépines (BZD) et apparentées, sont une classe d'une grande homogénéité structurale dont l'activité pharmacologique facilite la neurotransmission inhibitrice d'un récepteur hautement spécifique de l'acide gamma-aminobutyrique (GABA).

Chaque benzodiazépine exerce quatre activités fondamentales : anxiolytique, anticonvulsivante, sédatrice et/ou hypnotique et myorelaxante, avec une intensité variable ce qui justifie l'abondance des spécialités pharmaceutiques disponibles. Elles n'ont pas d'action antidépresseive ni antipsychotique.

Les BZD anxiolytiques tout comme leurs métabolites ont une demi-vie longue (30 à 150 heures), expliquant la durée de leurs effets. La sédation, un effet secondaire de ces BZD et l'anxiolyse favorisent le sommeil, effet qui s'atténue lors d'une utilisation prolongée.

Les BZD hypnotiques ont au contraire une demi-vie biologique courte (10 à 20 heures) et ne possèdent pas de métabolites actifs. Elles diminuent le délai d'endormissement, augmentent la durée totale du sommeil. Le triazolam, BZD hypnotique qui a l'effet le plus rapide, a souvent été à l'origine d'effets indésirables de type amnésie-automatisme : pour cette raison, sa durée de prescription est limitée à 2 semaines. Hormis le tétrazépam (Myolastan®), il y a peu de **BZD myorelaxantes** contre les contractures musculaires douloureuses en rhumatologie. Le diazépam anxiolytique est cependant prescrit à très forte dose en milieu hospitalier lors de crises tétaniques.

En revanche **les BZD anticonvulsivantes** sont plus nombreuses, indiquées seules ou en association à d'autres anticonvulsivants dans le traitement de l'épilepsie et pour le traitement d'urgence d'une crise ou d'un état de mal épileptique.

Les BZD anesthésiques de demi-vie très courte sont le midazolam (Hypnovel®) utilisé comme inducteur de la narcose en anesthésie générale (demi-vie 2 à 3 heures) et le flunitrazépam IV (Narcozep®). Leur effet amnésiant est alors favorable dans cette indication mais en a fait des candidats idéals comme « drogues des violeurs » ; le toxicologue doit y penser systématiquement, tout comme aux autres BZD à moindre degré, dans ce type de circonstances.

Deux molécules hypnotiques d'usage fréquent sont apparentées aux benzodiazépines sans en avoir la structure chimique. D'une part une **cyclopyrolone**, la zopiclone (Imovane®) ou une **imidazopyridine**, le zolpidem (Stilnox®). Leur action myorelaxante et anticonvulsivante est faible et leur effet amnésiant serait moindre.

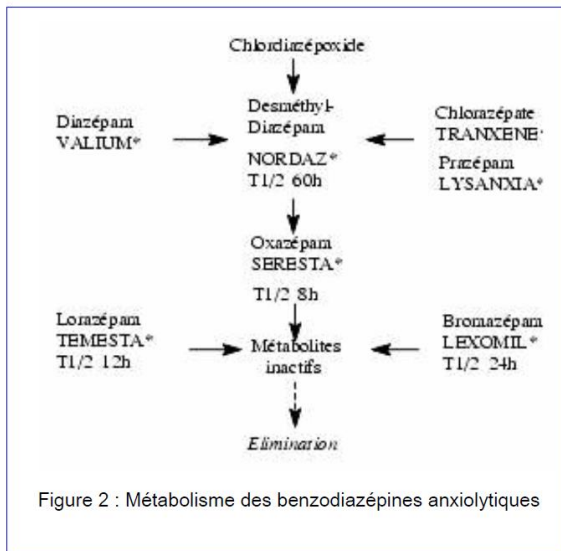
¹² Le syndrome extrapyramidal associe trois signes : tremblement de repos, rigidité et mouvements rares et lents des membres.

BZD anxiolytiques DCI	Dénomination commerciale	BZD sédatives et hypnotiques DCI	Dénomination commerciale
Alprazolam	XANAX [®]	Estazolam	NUCTALON [®]
Bromazépam	LEXOMIL [®]	Flunitrazépam	ROHYPNOL [®]
Clobazam	URBANYL [®]	Loprazolam	HAVLANE [®]
Clotiazépam	VÉRATRAN [®]	Lormétazépam	NOCTAMIDE [®]
Clorazépate	TRANXENE [®]	Nitrazépam	MOGADON [®]
Diazépam	VALIUM [®]	Témazépam	NORMISON [®]
Loflazépate	VICTAN [®]	Triazolam	HALCION [®]
Lorazépam	TÉMESTA [®]	Zopiclone (bzd like)	IMOVANE [®]
Nordazépam	NORDAZ [®]	Zolpidem (bzd like)	STILNOX [®]
Oxazépam	SÉRESTA [®]	BZD myorelaxantes	Dénomination commerciale
Prazépam	LYSANXIA [®]	DCI	
		Tétrazépam	MYOLASTAN [®]
BZD anticonvulsivantes DCI	Dénomination commerciale	BZD anesthésiques DCI	Dénomination commerciale
Clonazépam	RIVOTRIL [®]	Midazolam	HYPNOVEL [®]
Diazépam	VALIUM [®]	Flunitrazépam	NARCOZEP [®]
Clobazam	URBANYL [®]		

Tableau 2 : Principales benzodiazépines

La complexité, non de la détection analytique de ces molécules, mais de l'identification de la substance mère en cause lors d'une intoxication, tient à l'intrication de leurs métabolismes donnant lieu à de nombreux métabolites actifs communs (nordazépam, oxazépam, témazépam ...), et à la variabilité du temps de séjour de leurs produits de dégradation dans l'organisme (Figure 2).

La dose considérée comme toxique est supérieure ou égale à 50 mg chez le jeune enfant et 500 mg chez l'adulte et bien que d'une toxicité modeste, les BZD sont responsables de tentatives fréquentes de suicide du fait de leur très large prescription, notamment en France.



Le surdosage ou l'intoxication aiguë aux seules BZD, généralement de pronostic favorable, se manifeste par une aggravation des effets sédatifs, avec, selon la dose ingérée, un coma calme ou un simple endormissement. Une dépression respiratoire et une hypotension peuvent survenir en cas d'ingestion massive, en particulier par les sujets âgés, de BZD d'action rapide. La dangerosité est plus souvent le fait d'associations (fréquentes pour les toxicomanes) avec d'autres psychotropes (antidépresseurs tricycliques, neuroleptiques, barbituriques etc.) ou de l'alcool.

Des réactions paradoxales à ces molécules sont fréquentes et consistent en l'augmentation des effets secondaires : troubles de la vigilance, altération des performances physiques, confusion mentale et hypotonie musculaire particulièrement chez la personne âgée. Un syndrome *d'amnésie-automatisme* peut survenir avec un tableau clinique associant :

- une *amnésie* de type antérograde débutant précocement après la prise du médicament et durant plusieurs heures ;
- un *automatisme* c'est-à-dire une activité en apparence ordonnée mais accompagnée de troubles du comportement dus à l'effet désinhibant des BZD (agressivités verbales, sexuelles, etc.) ;
- une *anxiété postcritique* poussant le sujet, après l'épisode amnésique, à une recherche obsédante et anxieuse de son comportement durant la période dont il n'a plus le souvenir.

Ces effets pharmacologiques sont précisément ceux qui ont conduit à l'usage des BZD dans le cadre d'une délinquance particulière « la soumission chimique » (voir chapitre suivant paragraphe 4). Il devient alors indispensable de pouvoir effectuer, chez la victime vivante ou décédée, un dépistage sanguin et urinaire de ces molécules le plus sensible possible car les effets pervers peuvent se manifester dès la dose thérapeutique.

La prise prolongée de BZD expose le patient à une toxicité chronique avec croissance des effets paradoxaux et risque de dépendance psychique mais également physique. L'arrêt brutal du traitement peut entraîner au cours des 10 jours qui suivent un véritable syndrome d'abstinence avec reprise des symptômes préexistants (anxiété, insomnie) parfois d'intensité supérieure. Il peut aussi se traduire par des crises convulsives, des hallucinations, de l'anorexie, une dépersonnalisation, une hypersensibilité à la lumière et au bruit. La découverte de ces produits, voire leur absence chez une victime habituée à leur consommation, revêt donc des significations diverses que l'expert doit savoir commenter.

Analytique

Les BZD sont des bases faibles, insolubles dans l'eau, solubles dans les solvants organiques. Le dépistage peut être effectué sur le liquide de lavage gastrique, le plasma, l'urine ou un extrait méthanolique du sang total par l'utilisation du test EMIT semi-quantitatif.

Après extraction des milieux biologiques (sang, urine, viscères, etc.), au besoin après déconjugaison à l'aide d'une glucuronidase, par l'éther ou un autre solvant approprié, en milieu légèrement alcalin, l'identification est faite par chromatographie en phase gazeuse ou liquide couplée à l'absorptiométrie UV et à la spectrométrie de masse [10 ; 11 ; 12] (voir paragraphe 4).

3.1.2.2. Les carbamates

Les carbamates sont des tranquillisants et sédatifs mineurs. Leur principal représentant est le méprobamate commercialisé sous les appellations d'Equanil® et de Mépronizine®. En France, ce médicament est encore fréquemment prescrit chez l'alcoolique et l'intoxication accidentelle ou suicidaire est assez courante mais

en régression apparente depuis 2007. Le laboratoire de toxicologie de la préfecture de police (INPS/Paris) en dénombre une dizaine de cas par an jusqu'à cette date et cinq depuis. Le toxicologue doit y penser d'autant que l'intoxication est mortelle dans 1 à 2 % des cas. Les manifestations de l'intoxication aiguë sont un état ébrié qui peut déboucher sur un coma avec troubles hémodynamiques, anurie, collapsus, insuffisance respiratoire.

Analytique

Les carbamates sont extractibles par l'éther, le dichlorométhane voire l'acétate d'éthyle en milieu acide, neutre ou alcalin et détectés en GC/MS (voir paragraphe 4).

3.1.2.3. Les barbituriques

Les barbituriques sont une classe d'hypnotiques occupant une place anecdotique en thérapeutique ayant cédé face aux benzodiazépines. Bien que majoritairement retirés du marché, il convient que le toxicologue les recherche encore en raison du trafic dont ils furent et font encore l'objet. Ces molécules également anticonvulsivantes et myorelaxantes sont considérées par l'expert en fonction de leur durée d'action.

- Les barbituriques rapides (demi-vie : quatre à 6 h) : retirés du marché (sécobarbital, classé stupéfiant, et pentobarbital) hormis le thiopental, anesthésique remplacé aujourd'hui par le propofol.
- Les barbituriques intermédiaires (demi-vie : 8 à 10 h) : retirés du marché (amobarbital et butobarbital).
- les barbituriques lents (demi-vie : 50 à 140 h) : le phénobarbital, indiqué pour ses propriétés anticonvulsivantes, est actuellement le seul inscrit à la pharmacopée française.

Pharmacocinétique

La biodisponibilité du phénobarbital par voie orale est de 80 %. La demi-vie plasmatique est de 50 à 140 h chez l'adulte, de 40 à 70 h chez l'enfant. Liposoluble, le phénobarbital diffuse dans tout l'organisme, particulièrement dans le cerveau. Il est partiellement lié aux protéines plasmatiques (50 % chez l'adulte et 60 % chez l'enfant). Son principal métabolite hydroxylé est inactif, glucuro ou sulfoconjugué et excrété par le rein d'autant plus que les urines sont alcalines. C'est un inducteur très puissant des enzymes du métabolisme des médicaments qui influe sur l'élimination d'autres xénobiotiques.

L'intoxication aiguë par les barbituriques d'action longue se caractérise par un coma d'installation progressive, l'électro-encéphalogramme pouvant comporter des silences électriques de plus de 30 minutes. La barbitémie et la profondeur du coma sont en général corrélées : le coma léger en dessous de 120 mg/L devient profond à partir de 160 mg/L. Les complications graves sont l'hypotension, l'hypothermie et la détresse respiratoire.

Analytique

Le dépistage des barbituriques est réalisé sur le plasma, les urines, ou les liquides de lavage gastrique après extraction en milieu acide par un solvant de type dichlorométhane ou chloroforme ou sans extraction par des méthodes immunoenzymatiques. L'identification et la quantification dans le cadre médico-légal se font par GC ou HPLC couplées à la spectrométrie de masse [13 ; 14 ; 15] (voir paragraphe 3).

3.1.3. Les antidépresseurs

Ces substances sont susceptibles d'améliorer l'humeur déprimée au plan psychique (tristesse, inhibition psychomotrice, asthénie physique et sexuelle, anxiété, troubles du sommeil) et au plan physique (troubles digestifs, anorexie, hypotension, troubles respiratoires et céphalées). Cette famille de xénobiotiques, fréquemment détectée par l'expert lors de morts toxiques, comprend plusieurs types selon le mode d'action ou la structure chimique (tableau 3).

On distingue :

- les antidépresseurs tricycliques (ADT), dits de première génération, dérivant tous de l'imipramine auxquels sont rattachés certains analogues à noyaux dibenzoazépine, dibenzocycloheptadiène, dibenzoxazépine, dibenzoxépine, dibenzothiépine et dibenzothiazépine ;
- les antidépresseurs de seconde génération, tétra cycliques ou de structure originale (fluoxétine, fluvoxamine, paroxétine, sertraline, citalopram, oxaflozane, médifoxamine, viloxazine) ;
- les inhibiteurs de la monoamine oxydase (IMAO) ;
- les sels de lithium sont des normothymiques ou stabilisateurs de l'humeur surtout employés dans le traitement préventif de la psychose maniacodépressive et en traitement curatif des états d'excitation maniaque ou hypomaniaque ;
- la carbamazépine (*anti parkinsonien*) et le valproate de sodium (*anti épileptique*) qui possèdent également des propriétés normothymiques.

Pharmacocinétique

Hormis les sels de lithium et bien qu'hétérogènes et de biodisponibilité réduite mais variable, les AD présentent tous une résorption rapide (2 à 8 heures) et quasi complète au niveau gastro-intestinal. Leur liposolubilité entraîne une forte liaison aux protéines plasmatiques et une grande affinité tissulaire pour le foie, le rein, la rate, le poumon, le cœur, le cerveau dans lesquels l'expert n'aura pas de difficultés à les détecter même à l'état de traces. Toutefois leurs demi-vies les différencient : courtes (0.8 h pour l'amineptine), moyenne (6 à 20 h pour l'imipramine) ou longues (1 à 4 jours pour la fluoxétine).

Le métabolisme est exclusivement hépatique. Les amines tertiaires se transforment en amines secondaires aux propriétés habituellement antidépressives (par exemple) : l'imipramine forme la désipramine, l'amitryptiline donne la nortryptiline et la clomipramine produit la N-desméthylclomipramine) avant d'aboutir à des amines primaires inactives hydroxylées puis conjuguées et éliminées par le rein ; autant de marqueurs significatifs pour le toxicologue qui, selon le rapport de leurs teneurs, peut être en mesure de situer la prise du médicament dans le temps.

ADT Imipraminiques/ DCI	Dénomination commerciale	AD tétracycliques DCI	Dénomination commerciale
Imipramine Désipramine Clomipramine Trimipramine Quinupramine	Tofranil® Pertofran Anafranil® Surmontil® Kinupril®	Maprotiline Miansérine,	Ludimil® Athymil®
ADT apparentés/ DCI	Dénomination commerciale	AD à Structure originale/DCI	Dénomination commerciale
Dibenzoazépines Opipramol Carbamazépine (<i>anti parkinsonien</i>)	Insidon® Tégrétol®	Fluoxétine, Fluvoxamine, Paroxétine, Sertraline, Citalopram, Oxaflozane, Médifoxamine, Viloxazine	Prozac® Floxyfral® Déroxat® Zoloft® Séropram® Conflictan Clédial Vivalan®
Dibenzocycloheptadiène Amitryptiline, Nortryptiline, Amineptine	Laroxil® Motival® Survector®	IMAO/DCI	Dénomination commerciale

		Iproniazide Moclobémide Toloxatone	Marsilid® Moclamine® Humoryle®
Dibenzoxazépine Amoxapine	Défanyl®	Sels de Lithium	Dénomination commerciale
Dibenzoxépine Doxépine,	Quitaxon® Sinéquan®	Carbonate de Li Gluconate de Li	Téralithe® Neurolithe®
Dibenzothiépine Dosulépine	Prothiaden®	Antiépileptique normothymique	Dénomination commerciale
Dibenzothiazépine Tianeptine	Stablon®	Valproate de sodium	Dépakine®

Tableau 3 : Principaux antidépresseurs.

Les intoxications aiguës notamment suicidaires par les antidépresseurs sont fréquentes et parfois très graves souvent associées à l'alcool. Le passage à l'acte des malades dépressifs traités est expliqué par la levée d'inhibition psychomotrice surtout en début de traitement.

Le tableau clinique de l'intoxication peut être d'un secours utile à l'expert car il se caractérise par des signes, sinon spécifiques, assez évocateurs lorsqu'ils sont tous présents :

- Signes neuropsychiques

Troubles de la vigilance, coma, généralement peu profond (60 % des cas), signes d'agitation, d'hypertonie et syndrome pyramidal, convulsions (10 à 20 % des cas). Le coma se dissipe en 24 à 48 heures sauf en cas de poly-intoxications (généralement avec les benzodiazépines) pour lesquels il est plus sévère.

- **Syndrome anticholinergique** précédant parfois le coma : agitation, délire, tremblements, mydriase d'apparition rapide, sécheresse des muqueuses, rétention urinaire, constipation et risque d'occlusion.

- **Troubles cardiovasculaires** et risque d'arrêt cardiaque mortel après épisode convulsif (rare).

Dans cette famille d'AD, le **Lithium** est à part car sa toxicité s'exprime pour des variations très faibles des teneurs thérapeutiques efficaces (0,5 à 0,8 mmol/L) et rapidement atteintes (deux à quatre heures). Sa demi-vie est de 24 heures et son élimination est exclusivement rénale en compétition avec le sodium dont toute déplétion entraîne un surdosage de lithium. Le toxicologue doit prendre en compte que le lithium est plus concentré dans le globule rouge que dans le plasma, le sang de cadavre en étant un mélange non séparable. L'intoxication se manifeste à partir de 1.2 mmol/L de plasma par des signes digestifs (anorexie, nausées) et neuropsychiques (sommolence, vertiges, ralentissement intellectuel, tremblements et démarche ébrieuse), pour une lithiémie supérieure à 2 mmol/L, par une encéphalopathie avec coma convulsif. Sans traitement, la mort survient par anoxie cérébrale.

Analytique

Les antidépresseurs et leurs métabolites peuvent être extraits des liquides biologiques voire des tissus par solvants non miscibles à l'eau (éther, dichlorométhane, etc.) en milieu alcalin. Le test EMIT croise parfois avec les phénothiazines. La confirmation de présence par CG/MS ou HPLC/MS ou MSn est indispensable. Le dosage des métabolites actifs est nécessaire. Les formes libres et conjuguées sont différenciées par quantification avant et après hydrolyse enzymatique en présence de suc *d'Helix pomatia*. La lithiémie se détermine par spectrophotométrie d'absorption atomique ou d'émission et ICP/MS [16 ; 17 ; 18] (voir paragraphe 4).

3.2. Les anesthésiques

Les anesthésiques ont pour but d'abolir la sensibilité et les réactions douloureuses, soit par voie générale avec perte de la conscience, soit localement sans modification de la conscience. Leur emploi s'accompagne souvent d'adjuvants. Ces produits sont de plus en plus l'objet de mésusage délinquant à l'instar du chloroforme ou de l'éther d'autrefois. Trois groupes les composent : les anesthésiques volatils, les anesthésiques

intraveineux et les anesthésiques locaux. D'une grande variété structurale, leur dosage requiert plusieurs techniques analytiques différentes GC/MS Head space, GC/MS et HPLC/MS ou MSn (voir paragraphe 4).

3.2.1. Les anesthésiques généraux

Outre l'insensibilité générale et l'abolition de la conscience réversible mais avec amnésie de la période, les anesthésiques généraux, administrés par voie générale, provoquent une diminution du tonus musculaire utile au chirurgien mais également à un agresseur. Les intoxications aiguës proviennent d'ingestion, d'inhalation voire d'injection. L'anesthésie comprend 3 stades utiles (I, analgésie ; II, excitation ; III, stade chirurgical) et un stade terminal (IV, arrêt respiratoire et cardiaque) qui ne doit pas être atteint mais qui est celui auquel est confronté l'expert toxicologue. Il doit pouvoir distinguer :

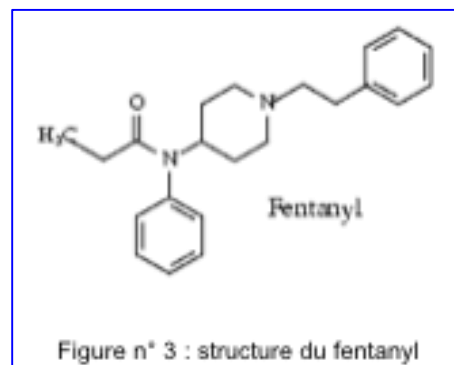
- **les anesthésiques par inhalation** dont les *anesthésiques halogénés*, desflurane (Suprane®), isoflurane (Aerrane®, Forene®), sévoflurane et halothane. L'usage médical du chloroforme est désormais abandonné mais rien n'empêche un agresseur d'en faire usage et l'analyste doit y penser. Le *protoxyde d'azote* (N_2O) ou gaz hilarant, adjuvant d'anesthésie assurant un réveil rapide, très utilisé et objet de nombreux trafics en vue d'usage récréatif mais non dépourvu de risque toxique ;
- **les anesthésiques injectables** détournés ou volés en milieux hospitaliers sont utilisés de plus en plus en milieux festifs et par les toxicomanes.

La **kétamine** (Kétalar®) est une substance stupéfiante responsable d'un sommeil agité et d'hallucinations au réveil. Son usage peut entraîner une psychose.

Le **propofol** (Diprivan®) possède une action très rapide, d'usage courant en médecine humaine. La mort du chanteur Michael Jackson est une illustration du danger de son mésusage.

Le **fentanyl** (Durogesic®, ActiQ®, Matrifen®) est un dérivé opioïde de durée d'action 20 à 30 minutes utilisé également pour ses propriétés sédative et analgésique 80 fois supérieures à celles de la morphine (figure 3).

L'**alfentanyl** (Rapifen®) et le **sufentanyl** (Sufenta®) possèdent des durées d'action très brèves (10 min).

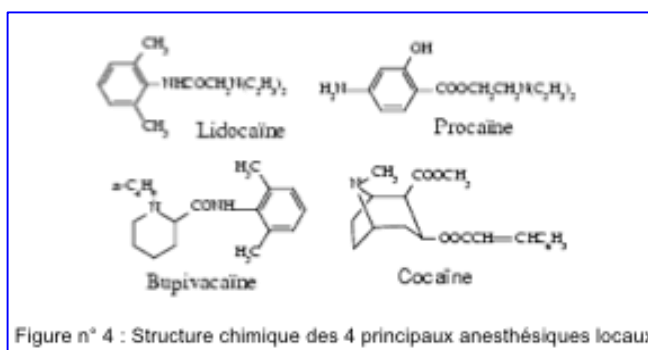


Dans ce groupe on trouve aussi le **midazolam** (Hypnovel®) benzodiazépine (cf. supra), l'**acide gamma-hydroxybutyrique** (GHB, Xyrem®, GammaOH®) et l'**étomidate** (hypnomidate®). Le GHB est aussi un constituant naturel endogène des mammifères. Le GHB est rapidement résorbé après ingestion et s'élimine très vite dans l'air expiré sous forme de gaz carbonique (demi-vie d'environ 20 min). Il agit comme un neurotransmetteur à dopamine. Comme pour la kétamine, son usage récréatif lié à un effet euphorisant proche de celui de l'alcool est devenu assez fréquent aux Etats Unis puis en France. L'hypnose profonde et l'amnésie qu'il procure en ont fait la « drogue du viol ».

Toutefois ce n'est pas la substance la plus souvent incriminée dans ce cadre. La très étroite fenêtre analytique de ces produits, en particulier du GHB, rend délicat le diagnostic de l'intoxication qu'ils induisent car l'analyste intervient généralement pour le sujet vivant sur des prélèvements tardifs (supérieurs à 24 heures). Le caractère endogène et l'évolution post mortem du GHB entraînent d'autres difficultés quant à la signification des résultats d'analyse sur les prélèvements d'autopsie.

3.2.2. Les anesthésiques locaux

Les anesthésiques locaux, avec la lidocaïne comme chef de file, sont des molécules qui inhibent la conduction nerveuse à l'endroit où elles sont appliquées. Elle est également utilisée comme antiarythmique. Ils intéressent le toxicologue car leur toxicité notamment cardiovasculaire peut être grave et les doses consommées par les toxicomanes, souvent à leur insu, peuvent être importantes. Ils sont en effet de fréquents produits de coupage adultérant de la cocaïne (figure 4).



Remarque : la cocaïne, première substance utilisée comme anesthésique local a été délaissée en raison des troubles psychiques et de la très forte dépendance qu'elle entraînait (cf. paragraphe 2.4.3).

Analytique

Les techniques de détection des anesthésiques sont diverses et recourent celles utilisées pour les psychotropes [19 ; 20 ; 21 ; 22].

3.3. Les cardiotropes

Le tableau 4 montre les différents cardiotropes.

Digitaliques/DCI	Dénomination commerciale	Anti hypertenseurs Béta-bloquants/DCI	Dénomination commerciale
Digoxine	Digoxine et Hemigoxine Nativelle®	Propranolol	Avlocardyl®
Digitoxine	Digitaline Nativelle®		
Deslanoside	Cédilanide®		
Anti hypertenseurs centraux/DCI	Dénomination commerciale	Anti hypertenseurs Antagonistes calciques/DCI	Dénomination commerciale
Alpha méthyl dopa Clonidine	Aldomet® Catapressan®	Vérapamil (myocarde) Diltiazem (myocarde) Amlodipine (vaisseaux) Nifédipine (vaisseaux) Nitrendipine (vaisseaux) Nicardipine (vaisseaux)	Isoptine® Tildiel®, Cardiazem® Amlor®, Coveram® Adalate®, Cardipine® Nidrel®, Baypress® Loxen®
Anti hypertenseurs IEC/DCI	Dénomination commerciale	Anti hypertenseurs Anti arytmiques/DCI	Dénomination commerciale
Captopril Énalapril Périndopril Quinapril Lisinopril Moexipril	Lopril® Renitec® Coversyl® Acuitel® Zestril® Moex®	voir figure 5	voir figure 5
Anti hypertenseurs antagonistes de l'angiotensine II/DCI	Dénomination commerciale		
Losartan Valsartan Candesartan Telmisartan Éprosartan Olmésartan Irbésartan	Cozaar® Nisis®, Tareg® Kenzen®, Atacand® Pritor®, Micardis® Teveten® Altéis®, Olmotec® Aprovel®		

Tableau 4 : Cardiotropes.

3.3.1. Les digitaliques

Les digitaliques ou glucosides cardiotoniques, tous d'origine végétale, sont des médicaments de l'insuffisance cardiaque et de certains troubles du rythme. Ils augmentent la force de contraction du myocarde sain ou en insuffisance et des fibres lisses des vaisseaux. Ils ralentissent le cœur et diminuent sa conduction tout en favorisant son excitabilité. C'est en inhibant la pompe Na^+/K^+ ATPase qu'ils exercent leur action cardiovasculaire et accessoirement diurétique.

Aujourd'hui la **digoxine** est le seul glucoside cardiotonique utilisé en thérapeutique. Cela n'exclut pas les intoxications par les plantes, rares mais graves (digitale pourpre : digitaline, digoxine, digitoxine ; digitale laineuse : lanatoside ; laurier rose : oléandrine ; muguet : convallatoxine, convallarine ; scille maritime : scillarène ; strophantus : strophantine etc.).

Pharmacocinétique

Plus la molécule est hydrophile (groupes OH nombreux) et moins elle est résorbée par le tube digestif et moins elle est fixée sur les protéines plasmatiques. Ces molécules ont un tropisme particulier pour le muscle cardiaque et il faut cinq demi-vies pour obtenir un taux sanguin stable : cinq à six jours pour la digoxine et 30 jours pour la digitoxine. Une forte dose d'attaque peut raccourcir ces délais mais l'expert doit penser qu'une surdose accidentelle ou volontaire importante peut conduire à des teneurs variables dans le sang tout en fixant rapidement sur les tissus cibles de fortes quantités d'hétérosides. Celles-ci peuvent être responsables d'intoxications graves avant que les protéines plasmatiques ne soient saturées et donc possiblement non corrélées à la teneur mesurée.

La recherche toxicologique des digitaliques doit être systématique dans la mesure où ces molécules sont toxiques dès les très faibles doses et pour de faibles écarts par rapport aux doses thérapeutiques efficaces.

3.3.2. Les antihypertenseurs centraux

Les antihypertenseurs centraux comme la clonidine (Catapressan ®) et inhibiteurs de l'enzyme de conversion (IEC) de type captopril (Lopril ®) ou énalapril (Renitec ®), etc. sont rarement responsables d'intoxications. Le risque est accru lors de co-ingestions de toxiques à effets cardiovasculaires. Les antagonistes de l'angiotensine II comme le losartan (Cozaar ®) ont des effets très semblables à ceux des IEC.

Les bêtabloquants (BB) comme le propranolol (Avlocardyl ®) indiqués dans l'hypertension artérielle, l'angor et l'infarctus du myocarde, sont plus fréquemment détectés que les précédents par l'expert toxicologue car détournés de l'usage médical comme anti stress et stimulants de la concentration par certains sportifs. L'intoxication est grave et corrélée à la dose absorbée ainsi qu'à l'état préalable du cœur de la victime. La symptomatologie du surdosage est dominée par une bradycardie, une hypotension pouvant être sévère, un choc cardiogénique, un spasme bronchique allant de l'asthme à la détresse respiratoire. L'issue mortelle n'est pas rare.

Les antagonistes calciques (AC), de structures chimiques hétérogènes, inhibent tous la pénétration intracellulaire du calcium mais avec un tropisme pharmacologique différent, les uns sur le myocarde, les autres sur les vaisseaux. Fortement métabolisés par le foie, leur demi-vie est courte. Bien que ces AC soient globalement bien tolérés, les intoxications aiguës sont sévères et mortelles dans 30 % des cas. La co-ingestion d'un autre cardiotrope est un facteur aggravant que l'expert doit savoir exploiter et commenter.

Les antiarythmiques sont des médicaments principalement utilisés contre les tachycardies et les extrasystoles. Ils peuvent appartenir aux classes précédentes (BB et AC), la classification de Vaughan-Williams les regroupe selon leur mécanisme d'action. La classe I possède également des propriétés anesthésiques locales à forte dose. Leur toxicité est voisine des précédents (tableau 6).

Classe	Mécanisme d'action	Principales molécules actives
I avec 3 sous-classes vitesse de repolarisation de la membrane a) augmentée, b) diminuée, c) stable	Diminuent l'entrée du sodium des cellules à réponse rapide.	Exacor [®] et Cipralan [®] (cibenzoline), Rythmodan [®] et Isorythm [®] (disopyramide), Flécaïnide [®] et Flécaïne [®] (flécaïne), Xylocard [®] (xylocaine), Dilantin [®] (phénytoïne), Rythmol [®] (propafénone), Sérécór [®] (hydroquinine)
II Groupe des Bêtabloquants	Inhibent la dépolarisation diastolique spontanée favorisée par les catécholamines	Avlocardyl [®] (propranolol), Célectol [®] (céliprolol), Corgard [®] (nadolol), Sectral [®] (acébutolol), Seloken [®] (métoprolol), Ténormine [®] (aténolol), Visken [®] (pindolol)
III Inhibiteurs calciques	Inhibent les canaux potassiques	Cordarone [®] (amiodarone)
IV Antagonistes calciques	Inhibent les canaux calciques au niveau des canaux lents	Isoptine [®] (vérapamil), Tildiem [®] (diltiazem)

Tableau 5 Classification des antiarythmiques

Analytique

Les méthodes de dosage mises en œuvre pour leur recherche toxicologique dépendent de la molécule recherchée et sont ainsi très diversifiées. Il est possible d'isoler les digitaliques par extraction en milieu acide ou neutre à l'aide d'un solvant organique approprié. Les techniques immunochimiques sont le plus souvent utilisées (digitaliques, quinine etc.), GC/MS (moexipril) et principalement HPLC/UV ou HPLC/MS et MSⁿ (digitaliques, [23 ; 24] lidocaïne, vérapamil, diltiazem, amiodarone, propranolol, métoprolol, énalapril, captopril, quinalapril), voir paragraphe 4.

3.4. Les stupéfiants

Les stupéfiants occupent une place prépondérante dans les recherches de l'expert toxicologue en police scientifique.

Si le terme « stupéfiants » désigne un groupe de substances connues pour inhiber les centres nerveux et pour induire une sédation de la douleur, son sens a été modifié par son usage juridique. Depuis la Convention européenne unique sur les stupéfiants de 1961 modifiée par le Protocole de 1972 à laquelle la France adhère par la loi 68 -1124 en 1968, un stupéfiant est un psychotrope illégal ou soumis à une réglementation en raison des risques susceptibles d'être engendrés par leur consommation (dépendance et dangers pour la santé et l'ordre publics). Les stupéfiants sont couramment appelés drogues.

En France, les substances classées comme stupéfiants sont listées dans les quatre annexes de l'arrêté du 22 février 1990 consolidées fréquemment (la dernière date est du 05 août 2013). Les annexes I et II contiennent notamment le cannabis, la cocaïne et divers opiacés et opioïdes, l'annexe III les amphétamines et le LSD, l'annexe IV les champignons hallucinogènes [25 : textes réglementaires].

3.4.1. Cannabinoïdes

(Voir aussi le chapitre VII)

Le cannabis est le stupéfiant le plus consommé en France : selon l'Observatoire français des drogues et toxicomanies (OFDT), sa consommation concernait en 2010, 13,8 millions de personnes disant avoir fumé au moins une fois dans leur vie, 3,8 millions dans l'année ; 1,2 million d'usagers réguliers et 550 000 usagers quotidiens. En 2011, chez les jeunes de 17-18 ans, 41,2 % en ont consommé récemment, c'est-à-dire au cours du dernier mois.

Le cannabis contient de nombreux cannabinoïdes. Le cannabidiol est le composé prédominant dans la plante. Il possède des propriétés anti-inflammatoires et sédatives. Néanmoins, le véritable principe actif du

cannabis, est le δ -9-transtétrahydrocannabinol ou THC. Ce psychodysléptique majeur se trouve en concentration variable selon la forme et les échantillons de la drogue (de 5 à 30 %). Plus sa concentration est élevée, plus les effets du cannabis sont importants.

Après inhalation de la fumée de cannabis, 10 à 50 % du THC sont absorbés et passent très rapidement dans le sang. Le pic plasmatique qui dépend de la dose et de l'individu est obtenu en sept à dix minutes. Dans le cas d'une prise orale, les pics plasmatiques se produisent plus tardivement (une à trois heures) et les teneurs sanguines sont inférieures à celles observées après inhalation.

Très lipophiles, le THC ainsi que ses métabolites se distribuent rapidement dans tous les tissus riches en lipides dont le cerveau. Leur volume de distribution dans l'organisme est donc élevé : quatre à 14 L/kg pour le THC. Cette fixation tissulaire importante justifie la rapide diminution des concentrations sanguines mais explique aussi, pour partie, les effets prolongés de cette drogue.

Le métabolisme oxydatif du THC conduit à deux composés hydroxylés actifs, le 11-hydroxy- δ -9-THC (ou OH-THC) et le 8- β -hydroxy-THC. Néanmoins, les durées de vie de ces composés sont si brèves et leurs teneurs plasmatiques si basses qu'ils ne peuvent contribuer aux effets pharmacologiques. L'OH-THC est ensuite oxydé en un composé inactif, l'acide 11-nor- δ -9-tétrahydrocannabinol carboxylique ou THC-COOH qui apparaît dans le sang dans les minutes qui suivent l'inhalation puis sa concentration augmente tandis que celle de THC décroît. Certains modèles mathématiques (très controversés) permettraient d'estimer le moment de consommation du cannabis à partir des concentrations sanguines en THC et THC-COOH :

$$\log T \text{ (en h)} = 0,576 \times \log (\text{THCCOOH}/\text{THC}) - 0,176 \text{ [26]}$$

Dans le cas d'une ingestion de cannabis, le métabolisme diffère : la quasi-totalité du THC est hydroxylée en OH-THC au niveau de la muqueuse intestinale, ce qui se traduit par une concentration sanguine en OH-THC supérieure à celle du THC (figure 5)

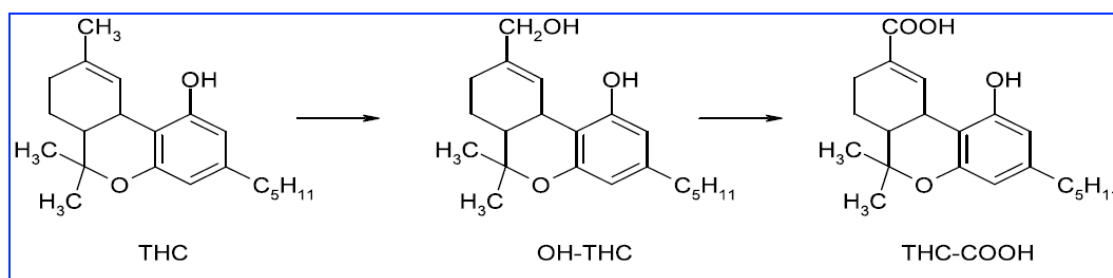


Figure n°5 : Structure du THC et de ses principaux métabolites

L'élimination des cannabinoïdes est lente, surtout biliaire puis fécale, mais aussi rénale et par la sueur ou le lait maternel. Dans l'urine, le THC inchangé est présent à l'état de traces tandis que l'OH-THC, sous forme conjuguée, ne représente pas plus de 2 % de la dose initiale, le THC-COOH est le plus abondant et on peut le détecter durant quelques jours à plusieurs mois. Ces caractéristiques rappelées dans le tableau 6, sont des marqueurs intéressants pour l'expert.

Milieux biologiques	Cannabinoïdes majoritaires	Délai maximum de détection	Domaine d'intérêt
Sang	THC OH-THC THC-COOH	2 à 10 heures	Confirmation, identification, dosage
Urines	THC-COOH	Consommation régulière : 7 jours à plusieurs mois occasionnelle : 2 à 7 jours	Dépistage d'une consommation
Salive	THC	2 à 10 heures	Dépistage d'une consommation récente
Cheveux	THC	Post mortem : quasi infini Sujet vivant : 1 mois par cm	Révélation et suivi d'un usage régulier

Tableau 6 Caractéristiques des milieux biologiques de mise en évidence d'une consommation de cannabis

Les effets du cannabis dépendent du mode de consommation du cannabis et de sa teneur en THC mais aussi de la personnalité et de l'état d'esprit du consommateur dont l'humeur, les sensations et le comportement

sont modifiés. L'ivresse cannabique se traduit par un sentiment de détente, de bien-être voire d'euphorie. Des modifications des perceptions sensorielles apparaissent progressivement ; plus intenses, appréciation du temps et de l'espace perturbée, désinhibition (facilitation de la parole et de la relation).

D'autres signes plus désagréables s'observent : anxiété, panique, agressivité, sentiment de persécution, tremblements et incoordination motrice, dépression, délire, des signes physiques tels qu'une augmentation du rythme cardiaque, une sécheresse buccale, un rougissement des yeux... Dans tous les cas, les performances intellectuelles, motrices et cognitives sont diminuées et lors de consommations chroniques, les perturbations de la mémoire immédiate persistent après plusieurs jours voire semaines d'abstinence.

L'action du THC est liée à sa fixation des récepteurs CB1 (plutôt au niveau du système nerveux central et impliqués dans les effets psychotropes) et CB2 (plutôt périphériques et impliqués dans les effets immunomodulateurs) possédant des ligands endogènes dont le principal est un ester de l'acide arachidonique, l'anandamide. Il s'agit d'une sorte de neurotransmetteur capable de mimer, de manière fugace et moins intense, les effets pharmacologiques et comportementaux du THC mais ayant une activité propre antinociceptive et pressive cardiovasculaire.

Certains experts établissent à partir des concentrations sanguines en THC et ses métabolites, un coefficient (CIF = Cannabis Influence Factor) permettant d'estimer le niveau d'influence psychotrope de la drogue sur un consommateur lors du prélèvement et notamment son aptitude à conduire un véhicule : $CIF = (THC / 314,5 + 11-OH-THC / 330,5) / (THCCOOH \times 0,01 / 344,5)$.

Lorsque la valeur du CIF est égale ou supérieure à 10, il est considéré que la conduite d'un véhicule est dangereuse [27]. Néanmoins, ces résultats dépendent de nombreux autres facteurs et sont donc à considérer avec précaution.

Enfin, il faut rappeler que très peu de cas démontrés de surdose en THC ayant entraîné la mort ont été rapportés. Les décès liés au cannabis sont généralement dus à une modification du comportement : défenestration ou accident de la circulation.

Des cannabinoïdes de synthèses ont vu le jour dans les milieux festifs vers la fin des années 80 et leur fréquence de détection dans le cadre médicolégal est croissante particulièrement depuis 2009. Ces produits dont l'affinité pour les récepteurs CB1 est 10 à 100 fois supérieure à celle du Δ^9 -THC sont généralement plus, et plus rapidement psychoactifs, plus analgésiques et beaucoup plus sédatifs. Leur durée d'action est cependant plus courte. Leurs effets neurovégétatifs sont plus intenses que ceux du THC notamment cardiovasculaires. Les complications psychiatriques (hallucinations visuelles et sonores ; paranoïa, dépersonnalisation...) et neurologiques (confusion, convulsions...) sont plus fréquentes qu'avec le THC.

La multiplication des formulations progresse (une dizaine connue en 2009, plus de 100 en 2013), le consommateur recourant souvent à des mélanges de produits de synthèse et d'herbe facilement accessibles sur Internet et la consommation se fait le plus souvent sous forme fumée inhalée (Spice, Krypton, Aroma...). Il s'agit de dérivés du dibenzopyranne (CP47, 497 et analogues), du tétra hydrocannabinol (HU 210, HU211, nabilone), du naphthoylindole (JWH-018 *n*-pentyle ; JWH-073 *n*-butyle) avec de nombreuses déclinaisons (indazoles, pyrroles) en majorité puissamment agonistes des récepteurs CB1 (figure 5bis).

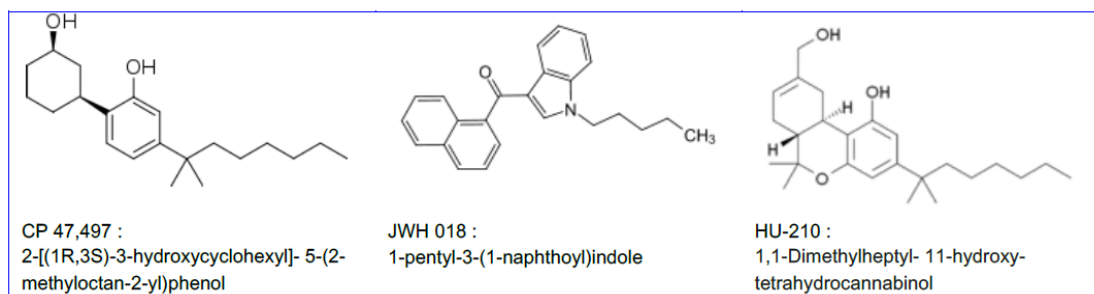


Figure 5bis : Principaux cannabinoïdes de synthèse

3.4.2. Opiacés et opioïdes

(Voir aussi le chapitre VII)

Les opiacés sont des substances dérivées de l'opium lui-même extrait du pavot. Il existe des opiacés naturels tels que la morphine et la codéine, et des opiacés semi-synthétiques comme l'héroïne. Les opioïdes comme la méthadone et la buprénorphine sont des opiacés d'origine synthétique.

Hormis l'héroïne, d'usage interdit, les autres produits sont les principes actifs de nombreux médicaments mais l'expert est souvent confronté à des usages non substitutifs de buprénorphine ou de méthadone ainsi qu'à des surdoses de plusieurs spécialités pharmaceutiques utilisées comme succédanés d'opiacés en cas de manque ; par exemple du dextropropoxyphène (Di-Antalvic®) ou de l'oxycodone (Oxycontin®) etc.

3.4.2.1. Héroïne

L'héroïne ou diacétylmorphine est obtenue par acétylation de la morphine, principal alcaloïde du pavot. Puissant dépresseur du système nerveux central, elle provoque une forte dépendance physique et psychique, poussant à la toxicomanie.

L'héroïne est sniffée, fumée ou injectée par voie intraveineuse. Elle n'est pas consommée par voie orale car le suc gastrique la transforme immédiatement en morphine.

En France, son usage est rare en population générale : moins de 1 % de la population en a consommé au moins une fois dans sa vie. En revanche, si la consommation était en chute libre depuis la diffusion des programmes de substitution au milieu des années 1990, certains signaux tels que le nombre de saisies par la police indiquent qu'elle augmenterait de nouveau. En effet, la perception de l'héroïne par les usagers de drogues paraît de plus en plus positive à mesure que l'on s'éloigne de la figure archétypale du toxicomane injecteur des années 80. Désormais, l'héroïne est diffusée dans les milieux festifs où elle est préférentiellement sniffée.

Très lipophile, l'héroïne pénètre très rapidement dans le cerveau ce qui lui confère une activité rapide et puissante, supérieure à celle de la morphine. Quelle que soit la voie d'administration, l'héroïne atteint son pic plasmatique en cinq minutes environ et disparaît avec une demi-vie de deux à cinq minutes. Son volume de distribution est très large (25 L/kg). L'héroïne est très rapidement métabolisée par désacétylation en 6-monoacétylmorphine (6-mam). Le pic plasmatique de cette dernière est atteint quasiment en même temps que l'héroïne. La 6-mam est ensuite hydrolysée en morphine plus lentement. La demi-vie plasmatique de la 6-mam est d'environ 20 min. 6-mam et morphine sont des molécules actives et ces deux métabolites sont plus ou moins glucuroconjugués (figure 6).

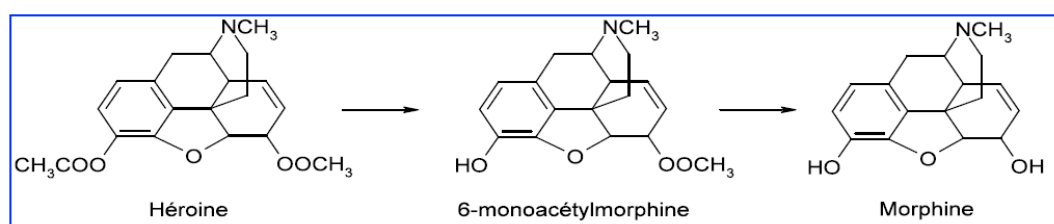


Figure n°6 : Structure de l'héroïne et de ses principaux métabolites

L'héroïne n'est donc jamais détectée dans les fluides biologiques. Cependant la présence de 6-mam dans le sang ou les urines est spécifique et caractérise la consommation d'héroïne, contrairement à la présence de morphine qui fait partie du métabolisme de nombreux opiacés et opioïdes.

Environ 80 % de la dose sont éliminés dans les urines en 24 heures. La 6-mam s'y retrouve pendant quelques heures (environ 7h) et la morphine jusqu'à trois jours. Les effets recherchés par la prise d'héroïne sont une sensation de détente et de déconnexion avec la réalité : c'est le « voyage ». Après injection, le « flash » qui ne dure que quelques dizaines de secondes, procure un sentiment de bien-être intense, une impression de chaleur, voire un « véritable orgasme physique et psychique ». Ces effets sont souvent suivis d'une phase de somnolence.

En cas d'usage répété, le plaisir intense des premières consommations ne dure au plus que quelques semaines. Cette phase est suivie d'un besoin d'augmenter la dose et la fréquence des prises (tolérance). La place accordée à cette consommation est telle qu'elle modifie la vie quotidienne de l'utilisateur. Des troubles apparaissent, dont l'anorexie et l'insomnie. La dépendance psychique puis la dépendance physique s'installent rapidement dans la majorité des cas. L'héroïnomanie oscille entre des états de soulagement euphoriques (lorsqu'il est sous l'effet de l'héroïne) et des états de manque qui provoquent anxiété, agitation, agressivité... La dépendance à l'héroïne entraîne des risques sociaux importants. Elle enclenche un processus de marginalisation chez certains usagers.

La surdose d'héroïne peut provoquer une contraction importante de la pupille, un ralentissement du rythme cardiaque, une dépression respiratoire qui conduit à une perte de connaissance, un coma et éventuellement à la mort. Elle est essentiellement liée à la méconnaissance de la pureté et de la composition de la poudre que le consommateur s'administre. De nombreux produits d'adultération et de coupage (barbituriques, benzodiazépines, caféine, strychnine, amphétamine etc.) sont utilisés. Cette surdose survient aussi lors d'un état de manque où après une période de sevrage, le consommateur s'injectant trop rapidement son habituelle dose de drogue qui est alors devenue trop élevée.

La mort au cours de surdoses fait souvent suite à un fléchissement de la victime qui s'affale sur le dos, tête en avant, ce qui obstrue les voies aériennes supérieures par la langue et l'épiglotte. Ceci provoque un risque d'étouffement ajoutant au risque de dépression respiratoire du toxique. Œdème pulmonaire et collapsus cardiovasculaire s'ensuivent.

3.4.2.2. Morphine

(Voir aussi le chapitre 7)

La morphine, principal alcaloïde extrait du pavot, est depuis très longtemps l'antalgique de référence auquel sont comparés tous les autres en termes d'efficacité.

La toxicomanie à la morphine n'est pas exceptionnelle. Elle est en croissance notamment comme substitut à l'héroïne. La morphine est le principe actif de plusieurs spécialités pharmaceutiques orales ou injectables prescrites pour soulager des douleurs modérées à fortes.

Les effets de la morphine sont à leur maximum une heure après une injection sous-cutanée, 30 minutes lors d'une intramusculaire et 15 minutes en intraveineuse. Par voie orale, sa biodisponibilité est faible (20-40 %) à cause d'un effet important de premier passage hépatique. Le pic plasmatique est alors atteint en une heure à une heure et demie. Elle pénètre dans tous les organes (reins, foie, poumons) mais ne s'accumule pas. Sa fixation aux protéines plasmatiques est de l'ordre de 35 %. Sa demi-vie plasmatique est de deux à trois heures et son volume de distribution de deux à cinq L/kg.

La morphine est métabolisée dans le foie, principalement par une O-glucuronocouplage et pour une faible partie, une N-désméthylation ou une O-méthylation conduisant alors à la codéine. L'élimination est surtout urinaire essentiellement sous forme glucuronocouplée que l'on détecte jusqu'à 72 heures dans les urines.

Le surdosage de morphine est un événement grave dont les symptômes sont les mêmes qu'avec l'héroïne : somnolence, hypotension, hypothermie et rapidement dépression respiratoire pouvant mener au coma et au décès. En réalité, les doses mortelles en morphine identifiées par l'expert sont le plus souvent liées à une surdose d'héroïne dont elle est, comme pour beaucoup d'opiacés, le principal métabolite.

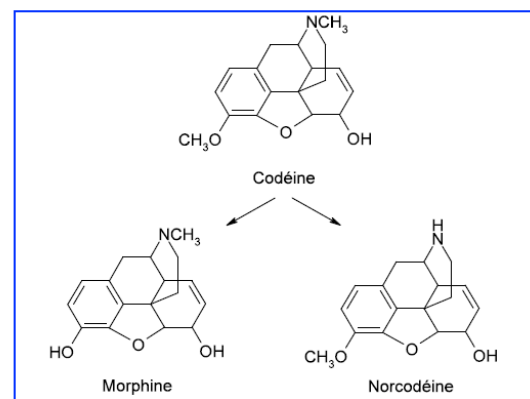


Figure 7 : Structure de la codéine et de ses métabolites

3.4.2.3. Codéine

La codéine est aussi un alcaloïde de l'opium et un dérivé semi-synthétique de la morphine (méthyl-morphine). Elle est utilisée comme antitussif ou analgésique, soit seule, soit combinée à l'aspirine ou le paracétamol principalement par voie orale mais il existe des spécialités injectables. La possibilité de vente sans ordonnance de certaines de ces spécialités permet un accès aisé à une molécule utilisée par certains à forte dose comme substitut de l'héroïne.

Après ingestion, l'analgésie apparaît en 20 min et son effet est maximal entre 60 et 120 min. Sa demi-vie plasmatique est de deux à quatre heures, son volume de distribution de 3,5 L/kg. La codéine est faiblement liée aux protéines plasmatiques (25 % environ). Le métabolisme est d'abord hépatique (O-déméthylation et N-déméthylation), puis rénal (glycuroconjugaison). 5 à 10 % d'une dose de codéine sont métabolisés en morphine (seule responsable de l'activité antalgique et de la toxicité) avec une grande variabilité individuelle d'origine génétique (figure 7).

3.4.2.4. Méthadone

La méthadone est le plus ancien dérivé synthétique opioïde remplaçant la morphine et développé comme antalgique puissant de demi-vie telle qu'une dose journalière unique suffise. Elle est indiquée dans le syndrome de sevrage aux opiacés au cours de la désintoxication et dans le traitement de substitution au long cours des dépendances à l'héroïne.

La méthadone est aussi utilisée pour les traitements de la douleur chronique et lors des soins palliatifs. Elle est aussi l'objet d'un usage détourné qui amène l'expert à fréquemment la détecter en toxicologie médico-légale seule ou en association avec d'autres psychotropes et drogues. La méthadone peut être administrée par voie orale (la plus répandue) ou parentérale. Elle est rapidement résorbée au niveau du tractus gastro-intestinal et les premiers effets analgésiques apparaissent après 30 à 60 minutes et durent de 6 à 8 heures. Une administration répétée allonge la durée d'action et la demi-vie est très variable (15 à 55 heures) selon les individus. Son principal métabolite, l'EDDP (2-éthylidène-1,5-diméthyl-3,3-diphényl pyrrolidine) est inactif, hydroxylé et glycuroconjugué comme la méthadone puis excrété dans l'urine (figure 8).

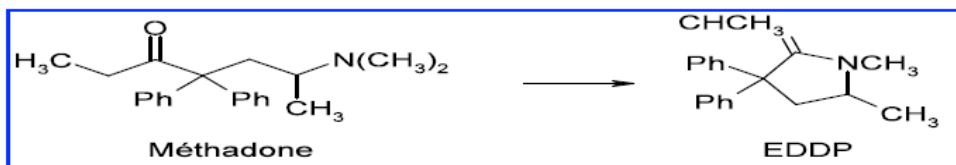


Figure n°8 : Structure de la méthadone et de son principal métabolite, l'EDDP

La méthadone possède deux énantiomères, le lévogyre étant beaucoup plus toxique or seule la forme racémique est commercialisée (mélange des deux). Certains sujets sont génétiquement déterminés pour éliminer une seule des deux formes. Il s'ensuit que la teneur sanguine totale n'a qu'un sens relatif.

Les effets de la méthadone sont similaires à ceux des autres opiacés. Une dose suffisante de méthadone empêche l'apparition du syndrome de manque et bloque l'effet de l'héroïne consommé parallèlement. Grâce à sa longue demi-vie, elle est compatible avec une vie sociale et professionnelle normale. En prise quotidienne, l'effet euphorisant de la méthadone est quasi inexistant et n'induit ni modification de la conscience ou des capacités intellectuelles ni tolérance. Elle entraîne néanmoins une dépendance semblable à celle des autres opiacés et une surdose a les mêmes caractéristiques : dépression respiratoire, œdème pulmonaire, bradycardie, coma et éventuellement décès. De même, de nombreuses substances potentialisent sa toxicité : éthanol, benzodiazépines, autres opiacés, etc.

Lors de décès liés à la méthadone, on observe que la concentration sanguine en méthadone n'est pas nécessairement très supérieure à celle observée chez des sujets qui l'utilisent comme traitement de substitution à forte dose. Les raisons probablement génétiques imposent à l'expert la détermination des deux formes d'énantiomères.

3.4.2.5. Buprénorphine

La buprénorphine, est un opioïde dérivé de la thébaïne, 25 à 50 fois plus analgésique que la morphine mais qui induit une dépression respiratoire et un syndrome de sevrage moins important ce qui en fait une alternative aux traitements de la douleur intense. Sa principale indication, qui a supplanté celle de la méthadone, est le traitement des dépendances aux opiacés (buprénorphine haut dosage : Subutex®). Mais plus encore que la méthadone, la buprénorphine, facilement accessible, est l'objet de mésusage, (voie injectable) de détournement d'usage et de trafic.

La buprénorphine est commercialisée sous forme injectable ou sublinguale et non orale en raison de sa large inactivation lors du premier passage hépatique. Par voie sublinguale, le pic plasmatique est atteint en 90 minutes, sa demi-vie biologique est de cinq heures et sa durée d'action de 24 heures donc une dose par jour doit suffire. En IM, le pic plasmatique est atteint plus rapidement (deux à cinq minutes).

La buprénorphine est métabolisée dans le foie par N-désalkylation conduisant à la norbuprénorphine plus toxique que la molécule mère. Buprénorphine et norbuprénorphine sont inactivées par conjugaison et sont éliminées principalement par excrétion biliaire (80 %) et par les urines (20 %) (figure 9).

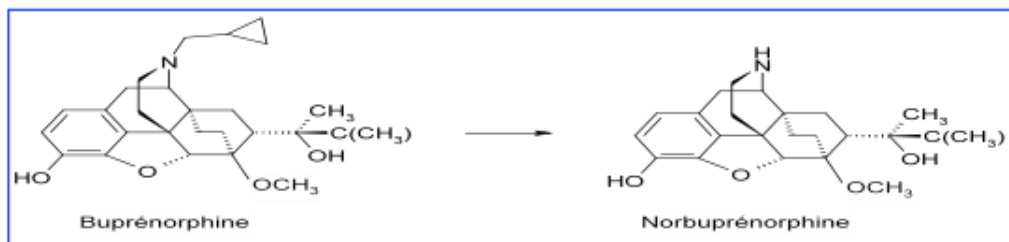


Figure 9 : Structure de la buprénorphine et de son métabolite, la norbuprénorphine

La buprénorphine ne présente pas de risque théorique de dépression respiratoire due à une surdose. En réalité, l'injection des formes dissoutes de comprimés et l'association courante avec d'autres psychotropes (alcool, antidépresseurs et benzodiazépines...) pratiquée par les toxicomanes, présentent des risques de toxicité : nausées, vomissements, sueurs, somnolence, troubles respiratoires pouvant conduire au décès [28].

3.4.3. Cocaïniques

(Voir aussi chapitre VII)

Si on excepte le cannabis, la cocaïne (COC) est la substance illicite la plus expérimentée et dont l'usage croît en France. Selon l'OFDT, 1,1 million de personnes âgées de 12 à 64 ans (2 % de la population) en ont consommée au moins une fois dans leur vie.

Cette drogue présentée en poudre, généralement sniffée, est aussi fumée ou injectée. Le crack est une forme dérivée de la cocaïne, obtenue par adjonction de bicarbonate ou d'ammoniaque.

Contrairement à sa pharmacocinétique, le métabolisme de la cocaïne ne dépend pas de la voie d'administration. La cocaïne est rapidement métabolisée avec une demi-vie variable d'un individu à l'autre comprise entre 0,5 et 1,5 heure. Son volume de distribution est important (2 L/kg).

Le principal métabolite de la cocaïne est la benzoylecgonine (BZE). L'ecgonine méthylester (EME) est formé dans une moindre mesure. Lorsque la cocaïne est consommée avec de l'alcool, elle se combine dans le foie avec l'éthanol pour donner du cocaéthylène. Ce métabolite participe à l'effet psychologique euphorique mais aggrave la toxicité de la combinaison éthanol-cocaïne (figure 10).

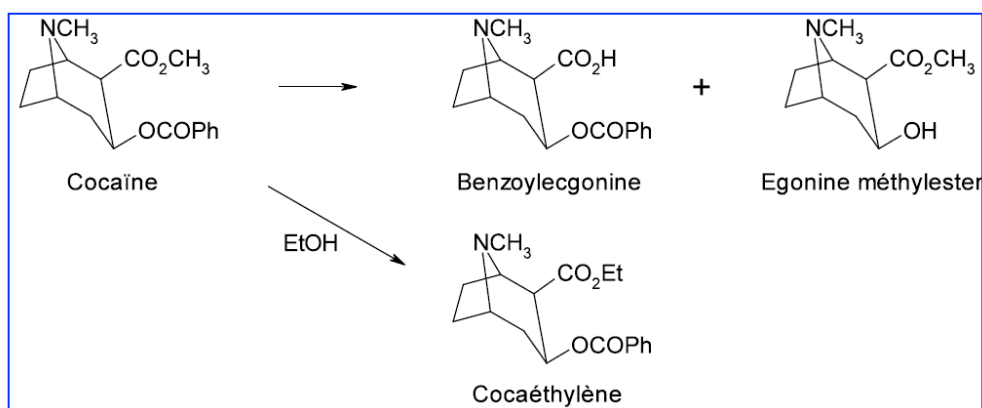


Figure n° 10 : Structure de la cocaïne et de ses métabolites

La pharmacocinétique de la cocaïne dépend de la voie d'administration (figure 11).

Ceci est essentiel pour l'expert car cela complique la compréhension des résultats. Seules les deux formes sniffée et fumée, plus courantes, sont abordées ici. Il existe aussi des consommations par voie intraveineuse (chez les poly toxicomanes à l'héroïne et cocaïne), des absorptions par voie transcutanée (chez les professionnels qui manipulent la cocaïne) et par voie gastro-intestinale (chez les mules ou body-packers).

Sous forme sniffée, la biodisponibilité et le délai entre le pic de concentration et l'administration sont proportionnels à la dose. La cocaïne n'est quantifiable dans le sang que plusieurs minutes après son passage transmuqueux. Le pic plasmatique se situe en moyenne autour de 50 minutes et la teneur reste stable pendant 30 minutes.

La BZE est détectée dans le sang environ 30 minutes après la prise, sa teneur croît lentement pendant deux à trois heures. La concentration en EME reste basse. Sous forme fumée (free-base et crack), la quantité de COC réellement absorbée dépend de la pipe utilisée et de l'expérience du consommateur. Le pic plasmatique est atteint en 6 à 12 minutes. La BZE apparaît dans le plasma en 15 à 30 minutes et atteint la teneur maximale entre 1,3 et 3 heures après.

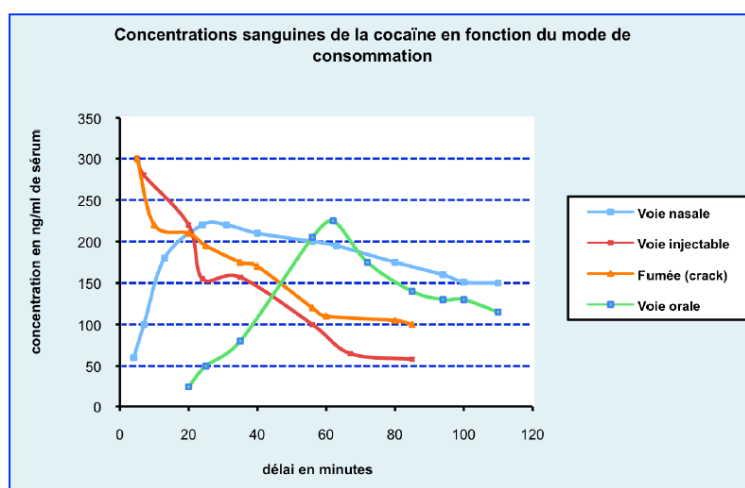


Figure 11 : Concentrations sanguines de la cocaïne en fonction du mode de Consommation (d'après 29).

Le délai approximatif entre la prise et le prélèvement sanguin s'estime à partir des concentrations plasmatiques. Si le rapport COC/BZE est supérieur à 1, la prise est récente. Si la COC n'a pas été détectée dans le plasma alors que la BZE y est présente, la prise date d'au moins huit heures. Toutefois, pour apprécier la signification des faibles teneurs, l'expert doit prendre en compte que chez les consommateurs chroniques, la cocaïne stockée au niveau des tissus lipidiques est relarguée dans la circulation générale de manière discontinue pendant généralement plus d'une journée.

La fenêtre analytique de détection dépend de la dose et de la voie d'administration mais en moyenne, la cocaïne et ses métabolites sont détectés pendant environ 12 heures dans le sang, un à trois jours dans l'urine, 12 à 24 heures dans la salive et un temps non limité dans les cheveux.

L'expert pourra mettre à profit pour sa recherche, les renseignements médicaux cliniques ou autopsiques qui lui sont fournis car certains signes sont plus ou moins caractéristiques.

L'expert pourra mettre à profit pour sa recherche, les renseignements médicaux cliniques ou autopsiques qui lui sont fournis car certains signes sont plus ou moins caractéristiques.

Au niveau cutané : cicatrices d'injection, brûlures du visage lors de consommation de free-base mais aussi nécroses des tissus notamment de la cloison nasale pouvant mener à des lésions perforantes chez les consommateurs réguliers.

Au niveau cardiovasculaire : troubles du rythme qui peuvent mener à un arrêt cardiaque.

Augmentation de l'activité psychique : troubles de l'humeur avec irritabilité, délires paranoïdes, attaques de panique, dépressions, insomnies, amnésies.

La cocaïne est un stimulant qui provoque un flash jouissif plus intense que l'héroïne. Le cocaïnomanie, euphorique, indifférent à la douleur et à la fatigue ressent un sentiment de puissance intellectuelle et physique. Un état d'ivresse et une agitation s'ensuivent puis font place à un état dépressif et à une anxiété que certains tentent d'apaiser par une prise d'héroïne ou de médicaments psychoactifs.

Les effets de la cocaïne peuvent durer jusqu'à deux heures mais rapidement, le toxicomane éprouve le besoin irrésistible d'une nouvelle dose. Une forte dépendance psychique s'installe. De plus, le phénomène de tolérance apparaît rapidement : la durée d'efficacité de la cocaïne se réduit et le consommateur augmente la dose ainsi que la fréquence des prises. La consommation quotidienne moyenne est d'environ un gramme mais il n'est pas rare d'observer des consommations compulsives chroniques dépassant dix grammes par jour. Les cas de surdose de cocaïne sont relativement rares, néanmoins ils existent en particulier pour les « body-packers » qui meurent par arrêt cardiaque par suite de rupture des contentants transportés dans le tube digestif. En revanche, les cocaïnomanes sont fréquemment impliqués dans des actes de violences ou des agressions sexuelles. En effet, la sensation de « toute-puissance » et la levée des inhibitions entraînées par la cocaïne favorisent le passage à l'acte.

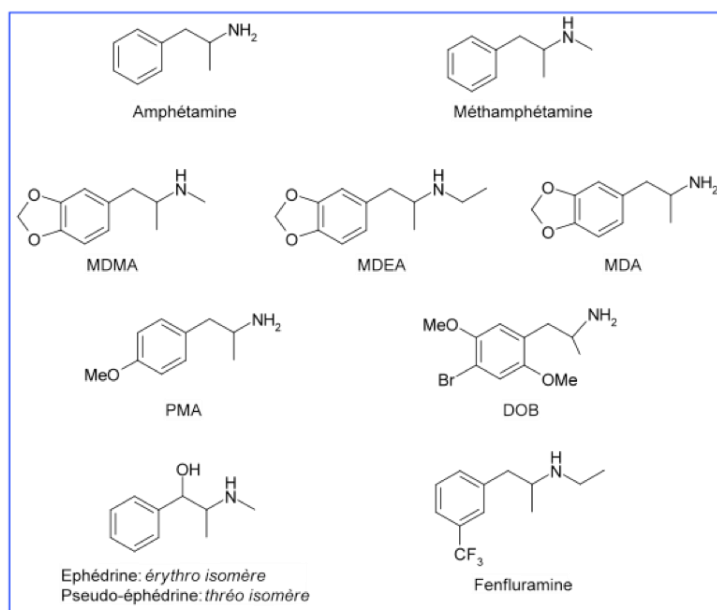


Figure 12 : Structures de quelques amphétamines et dérivés.

3.4.4. Amphétamines

(Voir aussi chapitre 7)

Les amphétamines, psychostimulants de synthèse aux propriétés anorexigènes, vasoconstrictrices et pour certains, hallucinogènes, n'ont plus que de rares utilisations thérapeutiques. Leur usage est surtout illicite en milieu festif, sportif, étudiant ou toxicomane. Toutefois moins de 2 % de la population générale ont expérimenté les amphétamines notamment l'ecstasy.

Les amphétamines se présentent généralement en poudre à sniffer ou en comprimés (ecstasy), plus rarement sous forme injectable. Elles coupent la faim et donnent l'impression de supprimer la fatigue et l'envie de dormir. L'utilisateur est euphorique, hyperactif, se sent invincible et voit ses capacités physiques et mentales augmenter. Puis, les effets s'inversent : la "descente" se caractérise par une sensation d'épuisement se prolongeant pendant plusieurs semaines par des symptômes dépressifs, anxieux, confusionnels ou des troubles du sommeil. Des troubles neuropsychiatriques peuvent apparaître : crise d'angoisse, confusion, désorientation temporo-spatiale, simple mal-être ou hallucinations.

Lors d'une intoxication aiguë aux amphétamines, les muscles se contractent, une hyperthermie, des convulsions, des troubles cardiovasculaires potentiellement mortels ou aux conséquences pathologiques sérieuses (muscles, foie, reins, cœur, cerveau) peuvent survenir. Consommées régulièrement, les amphétamines entraînent une dépendance psychique qui peut être importante ainsi qu'une tolérance mais pas de dépendance physique. L'état général se détériore par manque de sommeil et dénutrition et des troubles psychiatriques peuvent apparaître tels que altération du jugement et psychose.

L'amphétamine et la **méthamphétamine** sont les deux molécules emblématiques des amphétamines.

L'éphédrine et la pseudo-éphédrine, amphétamines naturelles sont couramment utilisées en thérapeutique. L'une dans le traitement de l'hypotension, de la narcolepsie et de l'asthme, l'autre comme décongestionnant nasal et

broncho-dilatateur sont parfois cause d'intoxications lors d'usage comme produit dopant notamment associé au cannabis.

L'**amphétamine** (*speed*) est rapidement absorbée par l'organisme et présente des effets similaires à ceux de la COC, moins intenses mais plus durables. Sa demi-vie, comprise entre sept et 34 heures, dépend du pH urinaire. Son excrétion se fait principalement sous forme inchangée (30 %).

La **méthamphétamine** (*Ice, Crystal*) est plus fréquente sur le marché illicite japonais, américain ou asiatique qu'europpéen. Elle est aussi rapidement absorbée avec un pic plasmatique après environ 4 heures. Elle se métabolise en amphétamine. Sa demi-vie d'élimination plasmatique varie entre six et 15 heures (figure 12).

Certains dérivés de l'amphétamine sans provoquer d'hallucinations (sauf éventuellement à forte dose) favorisent la communication, l'introspection, les contacts sociaux, l'empathie, la sensation de pouvoir s'exprimer librement. Parmi ces psychotropes dits « entactogènes » figure la MDMA (méthylènedioxyamphétamine ou *ecstasy*) mais se trouvent aussi la MDEA (méthylènedioxyéthamphétamine ou *eve*) et la MDA (méthylènedioxyamphétamine ou *love drug* ou *love pill*) également métabolites des deux précédentes, qui peuvent aussi entrer dans la composition d'un comprimé d'ecstasy (tableau 7).

Molécules	Sang	Urine	Salive	Cheveux
Amphétamine	48 h	2-4 j	24-48 h	Infini
Méthamphétamine			24 h	
MDMA			24 h	

Tableau 7 : Durée de détection approximative de certaines amphétamines

La famille des amphétamines regroupe de nombreuses autres molécules aux propriétés hallucinogènes comme la PMA (para-méthoxyamphétamine) trois fois plus puissante que la MDA mais aussi plus toxique ou encore la DOB (4-bromo-2,5-diméthoxyamphétamine) qui est tellement active qu'elle est parfois utilisée imprégnée sur du papier buvard comme le LSD.

3.4.5. Hallucinogènes

L'hallucinogène est « une substance pharmacologique dont l'absorption induit chez l'homme des modifications importantes et transitoires de la perception, des processus de pensée et de l'humeur » (Dictionnaire Larousse).

Nombreuses substances citées préalablement peuvent conduire à des hallucinations (cannabis, amphétamines, certains médicaments psychotropes), ce qui rend hétérogène la classe des hallucinogènes. Il ne sera fait état ci-après que des « hallucinogènes vrais » synthétiques tels que le LSD, la kétamine, le GHB (voir le paragraphe 3.2.1.), la phencyclidine... ou naturels comme les champignons à psilocybine ou les cactées à mescaline ... Leur usage se rencontre principalement dans certains espaces festifs.

3.4.5.1. LSD

Le LSD ou *acid* est le diéthylamide de l'acide lysergique, molécule structurale d'alcaloïdes de l'ergot de seigle. Il est habituellement consommé par voie orale sous forme liquide imprégnant des morceaux de sucre ou des papiers buvards mais le plus fréquemment en poudre, petits comprimés (*pills*) ou cristaux. Les doses unitaires consommées sont comprises entre 25 et 250 µg sachant que la dose minimale efficace est de l'ordre de 25 à 50 µg.

Le métabolisme du LSD est très rapide. Absorbé au niveau gastro-intestinal, il subit une N-dééthylation, une N-déméthylation et des hydroxylations. Sa demi-vie d'élimination est de trois à cinq heures. La durée de détectabilité du LSD dans le sang est de six à huit heures. Seulement 1 à 3% du LSD consommé sont retrouvés inchangés dans l'urine, d'où des teneurs rarement supérieures à 10 ng/mL détectables seulement pendant huit à 12 heures après la prise. Le 2-oxo-3-hydroxy-LSD, métabolite principal, présent en plus grande quantité que le LSD dans l'urine, permet d'élargir la fenêtre de détection à 48 heures (Figure 13).

L'absorption orale de LSD induit une intoxication en trois phases. La première, le « départ », débutant 20 à 40 minutes après la prise, dure environ deux heures avec comme signes : dilatation de la pupille, sueurs, tachycardie, tremblements, hyperthermie et hypertension parfois accompagnés de nausées, vomissements, et vertiges.

Vient ensuite le « voyage » ou *trip* qui peut durer cinq à huit heures. Les troubles psychiques qui apparaissent varient considérablement selon la personnalité du sujet, son environnement et son habitude de consommation : transformation de l'humeur allant de l'euphorie à l'extase en passant par l'anxiété extrême. Les modifications sensorielles sont les plus importantes : illusions voire hallucinations visuelles pouvant être terrifiantes, perception altérée du temps, de la distance, confusion des sens (on « voit » la musique, on « entend » les couleurs), sensation d'apesanteur, contrôle réduit de la pensée... L'utilisateur se dépersonnalise. Lors de *bad trips* (visions de cauchemar, angoisse, panique), des troubles graves du comportement peuvent survenir : actes de violence dont auto-mutilations, homicides, tentatives de suicide par défenestration.

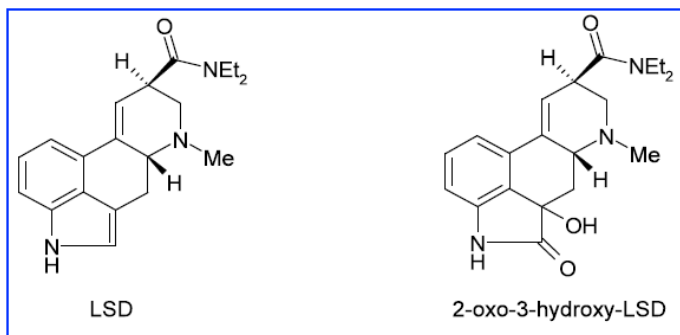


Figure 13 : Structure du LSD et de son métabolite, le 2-oxo-3-hydro-LSD

La troisième phase est le « retour » qui demande 8 à 12 heures. Le sujet reprend contact avec le monde extérieur et sa personnalité habituelle dans un tableau d'extrême fatigue qui dure 24 à 48 heures.

L'alcool et le cannabis mais aussi tout type de stress favorisent le « retour d'acide » ou *flash back* qui se traduit par une réapparition brutale des effets du produit, plusieurs jours ou plusieurs mois après une prise.

La toxicité aiguë directe du LSD est extrêmement faible (toxicité d'organe rarement évoquée) en comparaison de ses puissants effets psychodysléptiques. Il entraîne un développement rapide de la tolérance, n'induit pas de syndrome de manque ni de dépendance physique et peu de dépendance psychique.

Les toxiques hallucinogènes suivants, beaucoup plus rarement détectés par l'expert, ne sont pas développés.

3.4.5.2. Champignons hallucinogènes



Psilocybe mexicana



Psilocybe semilanceata



Conocybe tenera



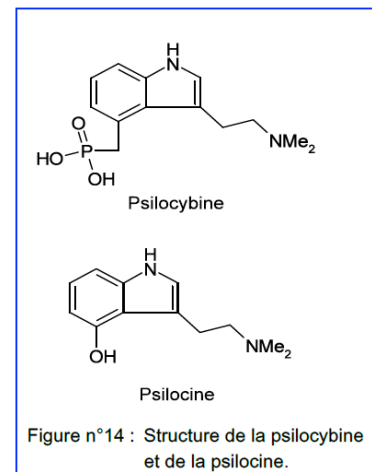
Gymnophilus junolus

Les champignons hallucinogènes ou « champignons magiques » sont consommés depuis plus de 2000 ans. Ils appartiennent aux familles suivantes : *Conocybe*, *Gymnophilus*, *Panaeolus*, *Psilocybe* et *Stropharia*.

Leurs propriétés sont dues à des composés indoliques dont le principal est la psilocybine au pouvoir hallucinogène estimé 50 fois plus puissant que celui de la mescaline mais 100 fois moins que celui du LSD, toutefois comme celui-ci dépendant beaucoup des individus. On les consomme sous forme sèche, en comprimés ou capsules.

Dans l'organisme, la psilocybine se transforme en psilocine, métabolite actif.

Les rares accidents¹³ mortels rapportés sont, comme pour d'autres hallucinogènes, plutôt liés à l'état de confusion mentale des victimes au moment de leur survenue qu'à une véritable intoxication (figure 14).



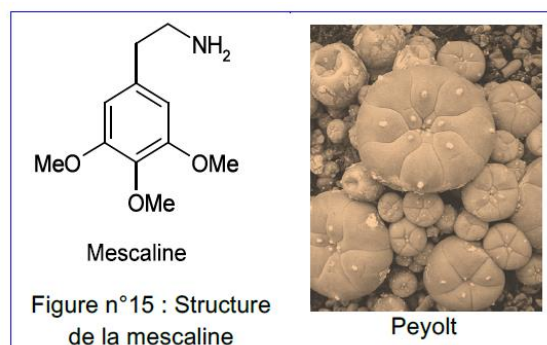
3.4.5.3. Mescaline

La mescaline est extraite d'un cactus mexicain, le peyotl¹⁴ ou synthétisée. Anecdotique en France, elle est consommée au Pérou et dans le Sud-Est des Etats-Unis sous forme de poudre, de grands comprimés ou de solution.

La dose hallucinogène efficace est de 200 à 500 mg de sulfate de mescaline mais l'est 5 000 fois moins que celle du LSD (figure 15).

La demi-vie d'élimination de la mescaline est de l'ordre de 6 heures, son élimination est principalement urinaire sous forme inchangée. Les effets surviennent après 3 heures et sont accompagnés de vomissements et nausées. Ils peuvent durer 6 à 8 heures.

Ses effets sont : excitation, euphorie, ivresse, hypersensibilité suivis de sédation, langueur, ralentissement psychomoteur, relâchement musculaire pendant lequel se développent des flashes de couleurs, prostration, incoordination motrice...



3.4.5.4. Cathinones

Les cathinones sont parmi les drogues de synthèse récentes apparues surtout après 2007 et sont actuellement fréquemment détectées en toxicologie médico-légale car elles ont envahi l'Europe et l'Amérique du nord.

Le chef de file de cette famille est la cathinone ou benzoyléthénamine qui est un alcaloïde du *Catha Edulis* (Khat), plante de l'Afrique de l'Est. Proche de l'éphédrine, elles sont caractérisées par



Khat en feuilles
A gauche : sous forme commercialisée en Afrique
A droite : la plante vivante

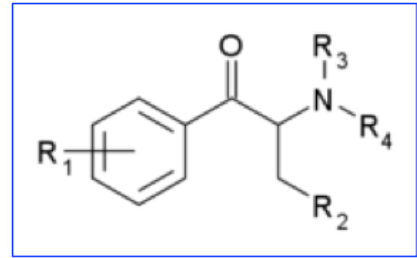
¹³ Médicalement, l'ingestion de champignons hallucinogènes dans un but récréatif est considérée comme une intoxication volontaire. La dose hallucinogène est souvent proche de la dose pathogène. Selon l'espèce 5 à 20 champignons donnent l'effet attendu « le voyage » en 20 minutes sous forme de sensations visuelles, auditives voire tactiles. La consommation entraîne également des troubles digestifs et psychiques de type anxiété, dépression, panique. Le risque d'accoutumance est réel.

¹⁴ Le peyotl renferme une vingtaine d'autres alcaloïdes dérivés de la phénéthylamine. Les boutons de la plante sont consommés crus, en infusion, chiqués voire fumés.

une fonction Béta cétone. La plus fréquente est la 4 -MMC ou Méphédrone mais on détecte un grand nombre de dérivés voisins dont : butylone, méthylone, éthylone, méthédrone, MDPV, 3-MMC, 4-MEC ...

Peuvent être classées dans cette famille, des amines tertiaires comportant un noyau pyrrolidine, assez proches des précédentes avec en tête de série, la pyrovalérone.

Après avoir été vendues librement sous l'appellation de « sels de Bain » notamment sur Internet, elles sont interdites en France depuis l'arrêté du 27 juillet 2012

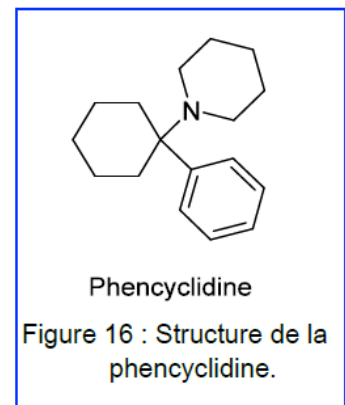


Alors que les feuilles fraîches sont mâchées par l'usager, les cathinones sont consommées parfois oralement dans une boisson mais le plus souvent par voie nasale ou injectable.

Les cathinones sont des stimulants du système nerveux central moindre que l'amphétamine mais avec les propriétés entactogènes des dérivés de type MDMA et approchant celles de la cocaïne en ce qui concerne le sentiment de puissance physique et cognitive. Elles présentent par ailleurs les mêmes risques cardiaques et neuropsychiatriques. Un de leur danger est leur usage banalisé en tant que produit de coupage de la cocaïne ou des amphétamines.

3.4.5.5. Phencyclidine

La phencyclidine (*angel dust*) ou PCP est un psychotrope appartenant à la famille chimique de la kétamine (*arylcyclohexylamines*) et qui a d'abord été développé en tant qu'anesthésique mais a été retiré du marché en raison de ses effets hallucinatoires et de sa neurotoxicité. Elle est consommée par voie orale, fumée sous forme de cigarette imprégnée, par « reniflage » et plus exceptionnellement par voie injectable.



Les métabolites oxydés, hydroxylés et glycuconjugués du PCP sont inactifs et détectables longtemps (1/2 vie de 18 heures) car le PCP est liposoluble et stocké dans les graisses. Les effets de la PCP qui durent de 12 à 15 heures, varient selon la personne, le contexte environnant et la dose. A faible dose, une sorte d'ivresse s'accompagne de relaxation, d'un sentiment de détachement du réel, d'incoordination motrice, de distorsions spatio-temporelles et de difficultés de concentration et de communication, voire d'une dépersonnalisation.

À fortes doses, elle peut provoquer agitation, agressivité, désorientation, paranoïa, attaque de panique avec peur de la mort. Lors de son retour à la réalité, le sujet peut garder une amnésie totale de l'expérience vécue. En cas d'intoxication aiguë, hypertension artérielle, troubles du rythme cardiaque et de la fréquence respiratoire, nausées et vomissements sont observés. Peuvent s'ensuivre une rigidité musculaire, des convulsions, une insensibilité à la douleur, un coma et une dépression respiratoire susceptibles de conduire au décès. A long terme, peuvent se faire jour des flash-back, des problèmes persistants d'élocution, une dépression entraînant un risque suicidaire, anxiété ou effets psychologiques plus graves (figure 16).

3.4.6. Méthodes de détection et de quantification des stupéfiants

Les stupéfiants sont recherchés par de nombreuses méthodologies. Les méthodes rapides d'orientation, qui ne permettent qu'un dépistage et nécessitent une confirmation par la suite, s'effectuent principalement sur les prélèvements urinaires.

De nombreux travaux ont conduit à valider le prélèvement salivaire plus accessible et moins invasif que celui de l'urine et n'impliquant pas la présence d'un médecin¹⁵. Ces dépistages ciblent principalement les cannabinoïdes, les opiacés, les cocaïnes et les amphétaminiques.

L'analyse du sang, principalement effectuée par chromatographie gazeuse ou liquide couplée à la spectrométrie de masse, est actuellement le protocole minimal (le seul reconnu par la loi dans le cadre médico-légal) permettant une identification formelle des principes actifs et des métabolites et une quantification de ces composés [29 ; 30 ; 31 ; 32 ; 33]. Toutefois la GC/MS-MS ou MSⁿ est plus performante notamment pour le LSD et certains hallucinogènes [34] et aujourd'hui leur analyse recourt généralement à la LC/MS-MS ou MSⁿ [35 ; 36 ; 37]. Cette technique a l'avantage d'éviter l'étape de dérivation nécessaire à la GC/MS et de détecter dans le sang, les urines, les cheveux et la salive, des concentrations de plus en plus faibles. Des techniques couplant la LC et la SM en temps de vol sont publiées [38]. (Pour les principes, voir paragraphe 4).

3.5. Poisons cytotoxiques de la respiration cellulaire

Le développement de ce paragraphe est limité à quatre poisons de l'hémoglobine : oxyde de carbone, cyanures, nitrites et nitrates.

L'hémoglobine (Hb) est une hémoprotéine porphyrique renfermant du fer qui assure le transport de l'oxygène des poumons vers les cellules.

- L'oxyde de carbone se lie au fer de Hb perturbant ainsi le transport de l'oxygène vers les tissus.
- L'ion cyanure est un inhibiteur de l'oxydation de Hb.
- Les nitrates et les nitrites sont des agents méthémoglobinisants qui oxydent le fer ferreux de l'hème (Fe²⁺) en fer ferrique (Fe³⁺), le rendant incapable de fixer l'oxygène et transformant Hb en méthémoglobine (MetHb).

3.5.1. Monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone (CO) est une des premières causes toxiques de mortalité en France : environ 6 000 intoxications par an, généralement accidentelles, 300 décès dont 150 d'origine domestique.

Le CO, résultat d'une combustion incomplète, est un gaz asphyxiant insidieux car invisible, inodore et de densité voisine de celle de l'air (0.96) favorisant sa rapide diffusion et sa respiration.

Le CO agit comme un gaz asphyxiant en prenant la place de l'oxygène dans le sang au niveau de Hb et de la myoglobine tissulaire¹⁶. Son affinité pour l'Hb est 210 à 260 fois plus forte que celle de l'oxygène. Cela signifie que, même présent en quantité infime dans l'air, le CO se lie préférentiellement à l'Hb à la place de l'oxygène en donnant de la carboxyhémoglobine (HbCO). Cela procure une teinte rouge carmin au sang qui ne peut échapper à l'œil de l'expert si le sang n'est pas trop altéré. Du fait de la présence de carboxyhémoglobine, l'oxyhémoglobine restante libère plus difficilement l'oxygène en périphérie. Ce phénomène aggrave encore le manque d'oxygène au niveau des cellules.

Les accidents proviennent essentiellement d'appareils de chauffage au gaz, au charbon ou au fuel fonctionnant dans des conditions d'aération et de ventilation inadéquates. Les incendies (voir chapitre X) sont une

¹⁵ En vue de lutter massivement contre la conduite d'un véhicule en ayant fait usage de produits stupéfiants, le dépistage des stupéfiants dans la salive a été expérimenté pour offrir l'opportunité aux officiers de police judiciaire de réaliser des prélèvements de salive, directement sur le bord de la route, sans avoir à recourir à un professionnel de santé ce qui est actuellement requis pour le dépistage dans le sang. Cette évolution réglementaire relative au code de la route permettrait de démultiplier l'action des forces de l'ordre dans la lutte contre l'usage des stupéfiants au volant, comme il a été possible de le faire pour l'alcool. L'effort qui doit être porté est significatif. En France, en 2013, la prévalence des stupéfiants dans les accidents mortels est de 23.2%. Dans le même temps, le nombre de dépistages de stupéfiants est de 128 000 contre 10 000 000 pour les dépistages d'alcool.

¹⁶ La myoglobine a également une affinité plus grande (40 fois) pour le CO que pour l'oxygène. Comme pour l'hémoglobine, en présence de CO, la courbe de dissociation est déplacée vers la gauche.

source importante d'intoxications aiguës massives. Enfin les suicides par CO ne sont pas rares notamment par usage des gaz d'échappements de voitures en atmosphère confinée.

La gravité de l'intoxication oxycarbonée est corrélée à la quantité de CO fixée sur Hb donc à la teneur du sang en HbCO dont la détermination constitue le meilleur marqueur mesurant le degré d'intoxication. Toutefois, le taux d'HbCO n'a de véritable sens que rapporté au taux d'Hb du sang.

Aussi, l'expert exprime le degré d'intoxication selon le rapport (HbCO/Hb*100) dénommé « coefficient d'empoisonnement » ou « coefficient d'intoxication oxycarbonique ». Ce rapport est le pourcentage réel d'hémoglobine transformée en carboxyhémoglobine. Par exemple, dire que le coefficient est de 0,25 signifie que 25 % de l'hémoglobine totale, soit le quart, sont sous forme de carboxyhémoglobine (tableau 8).

Analytique

Les méthodes de dosage du CO sont nombreuses [39 ; 40]. Les principales méthodes de détermination du taux d'imprégnation de l'organisme par le CO se répartissent en deux groupes, d'une part celles qui exploitent directement les caractéristiques spectrales différentielles de HbCO et de Hb (spectrophotométrie UV-visible, emploi d'un carboxymètre) [41 ; 42 ; 43] et d'autre part celles qui mesurent le volume de monoxyde de carbone obtenu après dénaturation de HbCO.

% HbCO	Symptomatologie
0 à 5 %	Aucun signe clinique
5 à 10 %	Intoxication chronique : asthénie, céphalées, vertiges
de 10 à 20 %	Céphalées, fatigue, vertiges
de 20 à 30%	Céphalées, fatigue, nausées, troubles visuels et auditifs, jugement troublé
De 30 à 40%	Céphalées, fatigue, nausées, vomissements, impotence des membres inférieurs, tendance au collapsus, coloration rose de la peau et des muqueuses
de 40 à 50 %	Confusion mentale, collapsus, syncope
de 50 à 60%	Comas, convulsions intermittentes
de 60 à 70 %	Décès

Tableau 8 Corrélation entre taux d'empoisonnement et symptomatologie

Ces dernières recourent à la chromatographie en phase gazeuse avec espace de tête [44 ; 45 ; 46] ou à une extraction chimique et un analyseur spectrophotométrique infra-rouge non diffusif de type ONERA [40]. Les résultats de ce type de méthodes obtenus en mL de CO pour 100 mL de sang doivent être rapportés à ceux du même sang préalablement saturé en CO par l'expert pour obtenir le coefficient d'empoisonnement. Des méthodes ayant recours à la microdiffusion en cellule de Conway et au dosage par le chlorure de palladium [47], bien que d'un autre temps, sont encore fiables.

3.5.2. Cyanures

Les cyanures et leurs dérivés ont en commun leur groupement nitrile : $-C\equiv N$

Cinq groupes composent cette famille : l'acide cyanhydrique (HCN) ou cyanure d'hydrogène ou acide prussique $^+H-C\equiv N$ et le cyanogène CN-CN, les composés halogénés de l'acide cyanhydrique (chlorure et bromure de cyanogène), les nitriles (acétonitrile, acrylonitriles), les cyanates et les glucosides cyanogènes. Seul le premier est développé ici :

L'acide cyanhydrique ou acide prussique [48] :

HCN et ses sels sont depuis longtemps utilisés à des fins criminelles et suicidaires (Borgia, Raspoutine, Zyklon des chambres à gaz, Eva Braun, 914 adeptes de la secte «le temple du peuple (1978), affaires du tylénol (1982) et de la josacine empoisonnée au cyanure (1994) ...).

HCN est un liquide incolore qui bout à 26° C et se solidifie à -13° C. En présence d'eau ou d'acide, ses sels de sodium, potassium ou calcium libèrent HCN.

HCN est un des toxiques les plus rapidement mortels. Son odeur caractéristique d'amande amère n'est perçue que par 70 % des humains et avec une sensibilité qui varie de 1 à 10⁶.

D'une grande ubiquité (industrie chimique, matières plastiques, matériaux d'ameublement, pesticides, insecticides, etc.), il est facilement libéré notamment lors de pyrolyse des matières plastiques. L'étiologie des intoxications est donc très diverse :

- accident professionnel, fuite d'acide cyanhydrique ou contact inopportun entre un acide et un cyanure soluble dégageant HCN ;
- incendies au cours desquels, la pyrolyse de polyuréthanes, acrylates, polyacrylonitriles, laine et soie, produit HCN qui ajoute sa toxicité propre à une intoxication oxycarbonée ;
- ingestion volontaire d'un cyanure qui libère HCN sous l'effet de l'acide chlorhydrique de l'estomac ; consommation de plantes contenant des glucosides cyanogénétiques (laurier rose).

La pénétration dans l'organisme se fait par voies orale, oculaire (gaz ou aspersion), cutanée (favorisée par plaies et brûlures) et pulmonaire (inhalation de gaz). L'absorption est extrêmement rapide, quelques secondes par voie pulmonaire à quelques minutes par la voie digestive. 60 % du cyanure se lie aux protéines plasmatiques et globulaires et se distribuent dans tous les tissus.

Le cyanure forme avec les métalloprotéines (Fe^{3+} ; Co^{2+} ...) de la chaîne respiratoire (cytochrome C oxydase) et l'hémoglobine des complexes toxiques entraînant une asphyxie cellulaire rapide avec déviation métabolique anaérobie, accumulation d'acide lactique et formation de cyanméthémoglobine. L'action inhibitrice des cyanures s'exerce sur plus de 40 systèmes enzymatiques de l'organisme.

Les biotransformations hépatiques et rénales conduisent aux thiocyanates (quasi atoxiques éliminés dans l'urine) grâce à la thiosulfate-sulfure transférase (Rhodanèse), rapidement dépassée en cas d'intoxication aiguë, et pour une faible part à la cyanocobalamine à partir de la vitamine B12. Le pouvoir catalytique est saturant et s'exerce lentement expliquant que l'intoxication cyanée est "durée dépendante". Une même dose peut donc être, selon qu'elle est absorbée progressivement ou rapidement, atoxique ou mortelle.

La paralysie du centre supérieur bulbaire, le plus sensible à l'anoxie, provoque un arrêt respiratoire suivi d'un collapsus cardio-vasculaire.

Outre sa toxicité cardio-respiratoire, l'acide cyanhydrique, tout comme les agents cyanés d'une manière générale, possède une action suffocante secondaire accompagnée d'un effet lacrymogène et d'irritation oculaire. Quelle que soit la voie d'administration, les manifestations cliniques de sa toxicité ne diffèrent pas hormis par des nuances dans les délais d'apparition.

On distingue 3 formes d'intoxication : aiguë foudroyante, aiguë et légère.

La forme aiguë foudroyante entraîne la mort en quelques minutes par arrêt respiratoire ou cardiaque post anoxique suivant un épisode d'hyperpnée transitoire apparaissant d'emblée puis, 15 à 30 secondes après, d'une dyspnée, d'une perte de connaissance et de convulsions. Selon Orfila (1825), l'intoxiqué « **présentait une raideur tétanique généralisée, la tête en arrière, les inspirations se faisant promptement avec bruit puis sur la fin filante** ».

La forme aiguë est d'apparition immédiate ou présente **un temps de latence** de moins de 10 minutes en général et comporte 4 phases d'importance variable : excitation, dépression, convulsions et paralysie. La première est marquée par des vertiges, des étourdissements, l'obscurcissement de la vue, une sensation de constriction de la gorge, de l'anxiété précordiale, une tachycardie, des douleurs dans la poitrine et une accélération de la respiration. Lors d'une **intoxication sévère**, le tableau est comparable à la forme aiguë foudroyante avec dyspnée intense et convulsions violentes. Les expirations sont longues et profondes, une phase de dépression s'installe avec chute de la tension artérielle, bloc auriculo-ventriculaire puis coma profond, cyanose, dépression des centres respiratoires, œdème pulmonaire direct ou cardiogénique, acidose métabolique, collapsus cardiovasculaire et arrêt cardiorespiratoire [49]. Cette évolution se fait en 5 à 20 minutes.

L'intoxiqué peut présenter une odeur d'amande amère, une pupille normale voire dilatée, une teinte « rouge cerise » des téguments, liée à la surcharge d'oxygène veineux par suite de son défaut d'extraction tissulaire.

En cas de survie, la victime présente de graves séquelles neurologiques si une réanimation précoce et adaptée n'a pas été entreprise. Des concentrations plasmatiques de cyanure $>$ ou $=$ à 2,5 mg / L sont rencontrées

chez les intoxiqués présentant un coma et / ou des convulsions. En cas **d'intoxication moyenne**, (*pour des concentrations de cyanure plasmatique de 0,5 à 1 mg/L*) quelques minutes après l'exposition, peuvent apparaître les premiers symptômes caractérisés par une hyperpnée, de l'agitation, de la confusion, une sensation d'anxiété, des vertiges, et de la faiblesse, des nausées avec ou sans vomissements et des tremblements musculaires. Dans les premiers moments s'observe une tendance incoercible à faire des grands mouvements des membres (enroulement des bras, tétanie etc.) et de rapides et grandes amplitudes ventilatoires. Si le sujet n'est pas soustrait de l'atmosphère, il présente des céphalées intenses, des épisodes d'apnée, des vertiges, une sensation d'ébriété et d'oppression thoracique et perd conscience ou un état de prostration et de paralysie s'instaure rapidement. Le tableau reste dominé par les troubles cardio-vasculaires : hypertension initiale compensée par une bradycardie puis, hypotension avec tachycardie puis asystolie.

La forme légère, toujours bénigne, se traduit par des sensations vertigineuses avec ébriété, hébétude, état confusionnel, voire des troubles respiratoires (oppression thoracique et augmentation d'amplitude respiratoire). Le retour à l'état normal est relativement rapide.

La valeur limite d'exposition tolérable est de 10 mg/m³. Des concentrations atmosphériques supérieures à 55 mg/m³ respirés pendant plus d'une ½ heure représentent un risque important, alors que l'inhalation pendant quelques minutes de 200 à 300 mg/m³ est potentiellement mortelle en quelques minutes¹⁷. La Ct.L 50 c'est-à-dire, la concentration qui multipliée par le temps de respiration (pour une fonction respiratoire de 15 L/min) tue 50% des sujets est de 1000 mg.min / m³

L'ingestion de 50 mg d'acide cyanhydrique ou 200 mg de cyanure de sodium est mortelle chez l'adulte (1mg/Kg chez l'enfant).

Analytique

Les cyanures sont déterminés dans les liquides biologiques par colorimétrie, fluorimétrie, électrochimie, spectrophotométrie d'absorption atomique et chromatographie [50] (voir paragraphe 4).

3.5.3. Nitrates et nitrites

Les nitrates (NO₃⁻), les nitrites (NO₂⁻) sont présents naturellement dans l'environnement sous forme ionique non volatile et proviennent de l'oxydation bactérienne (nitrosomonas) de l'ion ammonium (NH₄⁺) des eaux et des sols.

La toxicité des nitrates résulte principalement de leur réduction en nitrites qui forment de la **méthémoglobine** par oxydation du fer ferreux de l'Hb dans l'organisme des mammifères. Ceci réduit le transport de l'oxygène des poumons aux tissus.

Après ingestion (principale voie d'intoxication), les nitrates sont rapidement absorbés par l'intestin grêle puis distribués dans tout l'organisme et transformés en nitrites par l'activité microbienne de la salive. En cas d'infection, les voies urinaires et vaginales ainsi que plus rarement l'estomac lorsque le pH y est élevé (pH>5), peuvent en produire.

Des intoxications aiguës ont été associées aux nitrates chez des nourrissons exposés par l'eau de consommation de leur biberon.

Les premiers symptômes d'intoxication apparaissent quand la méthémoglobinémie excède 10 % (taux normal 1 à 2 %) et associent principalement une cyanose de la peau avec lèvres bleutées à des problèmes respiratoires et neurologiques qui deviennent graves à partir de 50 % de MétHb. La mort survient généralement pour des taux supérieurs à 70 %.

Il existe également une **consommation festive des nitrites organiques** (communément appelés *poppers*, principalement les nitrites d'amyle, de butyle et d'isobutyle). Il s'agit de vasodilatateurs initialement utilisés

¹⁷ Un rapport de l'INERIS en 2002 (Tissot S, Pichard A. Direction des risques chroniques –Unité d'expertise des substances chimiques) indique les seuils de toxicité aiguë de l'acide cyanhydrique en fonction du temps de respiration. Ces seuils de concentration atmosphérique respirée pour 1% de mortalité sont respectivement pour 1, 10, 20, 30 et 60 min de 392, 91, 75, 60, 41 mg/m³.

contre l'angine de poitrine. Leur usage détourné les a fait inscrire sur la liste des stupéfiants¹⁸. Ces composés volatils aux noms évocateurs (*Aroma of man, black-jack, bolt, bronxy, satan's scent, rush, red'x, arom trans, hot trip...*) sont présentés comme des arômes sous forme liquide plus ou moins visqueux dans des perles de 0,2 à 0,3 mL ou de petites fioles ambrées.

Ils sont consommés par inhalation et outre des effets aphrodisiaques présumés, provoquent des acouphènes, des hallucinations colorées, confusion mentale et troubles neurologiques irréversibles. En cas d'intoxication aiguë, ces signes plus ou moins intenses s'accompagnent d'hypotension et des conséquences de la méthémoglobinémie : cyanose, anémie hémolytique, agitation, ataxie, coma, dépression voire arrêt respiratoire et mort. L'usage chronique entraîne une tolérance, une dépendance physique et psychique, des épistaxis et ulcération des muqueuses nasale et buccale, conjonctivites, de graves troubles cutanés (dermatoses faciales), de l'anorexie et une réduction des défenses immunitaires.

Analytique

Les nitrites et nitrates sont essentiellement détectés par des méthodes colorimétriques [51] hormis pour les composés organiques pour lesquels on a recours à la GC/MS en espace de tête (voir paragraphe 4).

3.6. Les substances volatiles

Elles regroupent de nombreuses substances aux toxicités diverses. Leur mode de détection commun par chromatographie en phase gazeuse avec injection en espace de tête et détection en spectrométrie de masse (voir paragraphe 4 et chapitre 10) font leur homogénéité. Hormis celle de l'éthanol, leur fréquence en matière d'expertise toxicologique de police scientifique est très faible : éther, trichloréthylène, colles, dissolvants, acétone, pétrole, essence, détachants...

L'éthanol (CH₃CH₂OH) ou alcool éthylique est le principal alcool contenu dans les boissons alcoolisées.

Depuis plusieurs décennies, la consommation d'alcool en France est en constante diminution (50 % depuis 1960) grâce vraisemblablement aux mesures réduisant la limite légale autorisée de l'alcoolémie au volant [52 ; 53]. Néanmoins en France, au 4^{ème} rang européen et au 6^{ème} rang mondial des pays consommateurs, l'alcool est responsable d'environ 40 000 décès par an (figure 17).

Les conséquences de la consommation d'alcool sur l'organisme varient selon l'importance et les modalités d'usage (excessive ou non, aiguë ou chronique) et dépendent de nombreux facteurs environnementaux et individuels. Pour commenter une consommation d'alcool à partir de ses résultats d'analyse, l'expert a souvent recours à une notion admise selon laquelle chaque verre de boisson alcoolisée (ballon de vin, demi de bière, verre de pastis, verre de whisky, etc.) contient environ la même quantité d'alcool pur : 10 grammes ou 1.25 centilitre. Le seuil de risque donné par l'OMS est de deux verres pour les femmes et cinq pour les hommes.

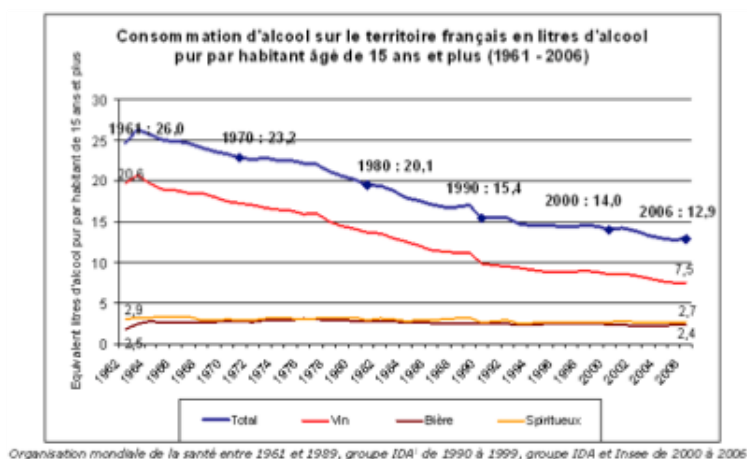


Figure n°17 : Consommation d'alcool sur le territoire français en litre d'alcool pur par habitant âgé de 15 ans et plus (1961-2006)

¹⁸ Le décret 90-274 du 24 mars 1990 interdisait la vente ou la distribution gratuite de nitrites de butyle, d'isobutyle, d'isopentyle (ou isoamyle). Désormais le décret n°2007-1636 du 20 novembre 2007 étend l'interdiction à la fabrication, l'importation, l'exportation, l'offre, la détention en vue de la vente ou de la distribution gratuite des nitrites d'alkyle aliphatiques, cycliques, hétérocycliques ou leurs isomères ne bénéficiant pas d'une AMM.

L'intoxication alcoolique est la principale cause d'accident sur la voie publique. Le risque augmente exponentiellement avec le degré d'imprégnation alcoolique puisqu'il modifie l'ensemble des comportements de l'individu.

L'éthanol est absorbé à 75 ± 5 % par diffusion passive au niveau de l'intestin (duodénum et jéjunum). Cette absorption est accélérée par le jeun et au contraire ralentie au cours des repas qui retardent la vidange stomacale en fermant le pyllore et en réduisant la motricité gastrique.

L'éthanolémie est maximale en 45 à 90 minutes selon la vacuité de l'estomac. Cela influe sur la hauteur du pic qui est plus élevé lors du jeun. Un autre facteur d'influence est la nature du bol alimentaire ; les graisses et la caféine par exemple ou les médicaments anti-cholinergiques (atropine, scopolamine) freinent l'absorption de l'alcool.

L'absorption dépend également de la force alcoolique de la boisson ; plus l'alcool est concentré, plus son transfert est rapide.

L'alcool se distribue, en quelques minutes, dans l'ensemble de l'organisme, vers les organes très vascularisés comme le cerveau, les poumons et le foie, et se dilue dans toute l'eau du corps soit environ 60 à 70 % de son poids. Ce pourcentage est plus élevé chez les sujets maigres que chez les sujets obèses, le tissu adipeux ne contenant que très peu d'eau. Le volume de distribution de l'alcool est donc plus faible chez la femme (0,5 L/kg) dont le rapport masse maigre/masse grasse est naturellement plus faible que pour l'homme (0,65L/kg). L'expert doit commenter ces données dans une expertise car la signification d'une alcoolémie est bien différente selon la corpulence du buveur. Ainsi, pour un même apport, l'alcoolémie pourra être beaucoup plus élevée pour une personne de faible poids que pour une personne ayant une forte musculature.

En revanche, l'alcoolémie, reflet de l'imprégnation et non de la quantité ingérée, a les mêmes conséquences, quelle que soit la taille, la masse grasseuse et la corpulence de l'individu. En d'autres termes, un boxeur poids lourd (100 kg de muscles) pourra boire trois fois plus d'alcool qu'une femme pesant 40 kg avant d'atteindre 0,5 g/L mais cette teneur atteinte, les dommages cliniques et comportementaux sont voisins pour les deux. La limite de 0,5 g/L constitue pour tous, le même indicateur fiable de risque au volant.

L'essentiel du métabolisme de l'éthanol a lieu dans le foie avec un effet modeste (20 %) de premier passage. D'autres tissus participent à minima à son oxydation. 80 % de l'alcool ingéré pénètrent donc dans la circulation générale sous forme d'éthanol et sont ensuite métabolisés au niveau hépatique (Figure 18).

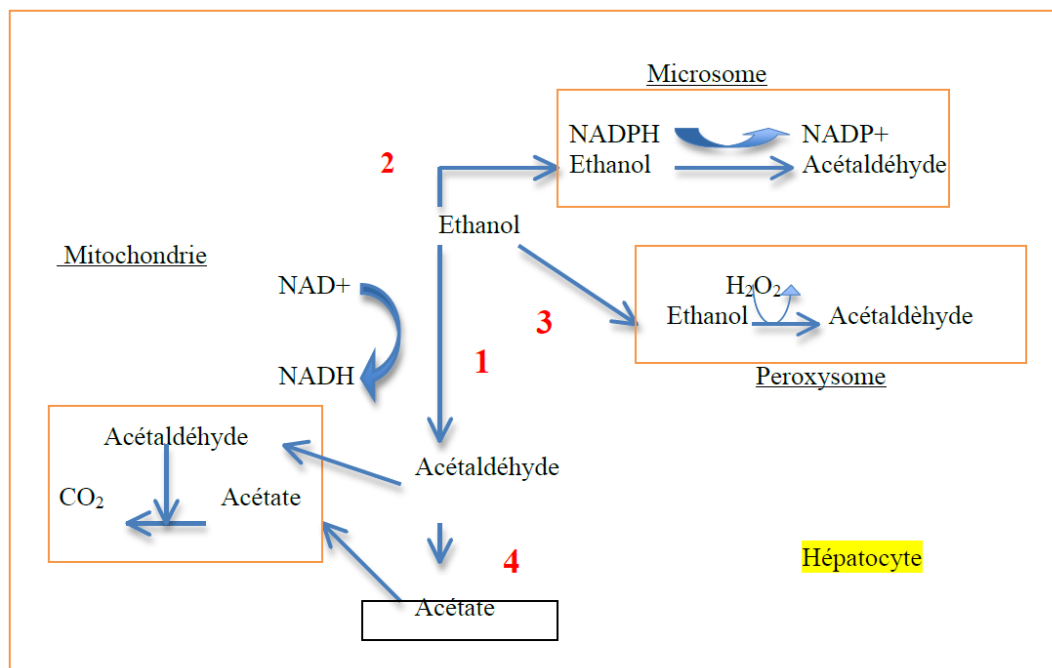


Figure 18 : Métabolisme de l'éthanol dans la cellule hépatique ;
1 - voie de l'aldéhyde deshydrogénase ; 2 - Système MEOS ; 3 - Voie de la catalase ;

Si la consommation est modérée, la voie métabolique essentielle impliquée est celle de l'alcool déshydrogénase (ADH/ NAD cytosolique) qui transforme l'éthanol en acétaldéhyde de toxicité supérieure à celle de l'éthanol. L'acétaldéhyde est ensuite très rapidement oxydé en acétate par l'intervention de l'aldéhyde déshydrogénase (ALDH/NAD cytosolique).

L'acétate est enfin transformé en acétylcoenzyme A introduit dans le cycle de Krebs pour produire du dioxyde de carbone (CO₂), de l'eau et de l'énergie (ATP). Cependant, le sang veineux à la sortie du foie contient encore dans l'organe environ 75 % de l'éthanol métabolisé sous forme d'acétate qui sont exportés vers les tissus extra hépatiques. Ces deux étapes concourent à réduire le NAD cytosolique en NADH,H⁺ que le cycle de Krebs doit réactiver. Cependant, si la consommation alcoolique est importante et répétée, cette voie classique est débordée et deux autres voies enzymatiques prennent le relais.

La voie prépondérante est un système particulier d'oxydation de l'éthanol présent dans les microsomes et nommé MEOS (Microsomial Enzymatic Oxidation System). Une voie accessoire est celle de la catalase, sauf chez l'alcoolique chronique.

L'acétaldéhyde déshydrogénase peut être bloquée par certains médicaments et devient alors inactive. Dans ce cas, l'acétaldéhyde s'accumule dans l'organisme où ce produit toxique entraîne des réactions désagréables nommées « l'effet antabuse » : nausées, vomissements, bouffées de chaleur avec rougeur intense du visage, malaises.

Si la voie métabolique oxydative de l'éthanol est la voie majeure, une fraction variable non négligeable (2 à 15 %) est transformée en *esters éthyliques d'acides gras (EEAG)* par un processus non oxydatif. Cette voie peut devenir significative lors de pics d'alcoolémie importants. Les EEAG, molécules à demi-vie courte, ont tendance à s'accumuler chez l'éthylique dans les cellules sanguines, le tissu adipeux, le cerveau, le foie et le pancréas.

Les signes cliniques de l'intoxication

L'expert est fréquemment, notamment à la barre des assises, amené à décrire, commenter et mettre en concordance avec ses résultats les signes d'intoxication. Tâche délicate car leur variabilité d'un individu à l'autre est importante en termes de teneur de déclenchement, de moment de survenue et d'intensité. De ce qui précède on voit que de nombreux paramètres interviennent : poids, taille, masse musculaire ou grasseuse, habitude de consommation, patrimoine enzymatique, manière de boire... L'expert peut établir un abaque général adaptable selon les cas mais avec une variabilité individuelle très importante.

- L'alcool éthylique, même à faible dose, déclenche dans l'organisme un certain nombre de troubles. Il agit sur le cerveau, modifie son débit sanguin, la glycémie et la teneur du sang en oxygène.
- Pour les alcoolémies comprises entre 0.3 et 1 gramme par litre, s'instaure une phase d'euphorie avec grisurie, levée des inhibitions psychiques, augmentation de la confiance en soi, légère incoordination motrice, baisse de l'attention.
- De 0.9 à 2 grammes par litre de sang, fait suite une phase d'ébriété avec augmentation du temps de réaction, troubles visuels, surestimation des capacités, disparition de l'anxiété, incoordination motrice et excitation.
- De 1.5 à 3 grammes par litre de sang, on observe une phase d'ivresse avec troubles neurosensoriels nets, démarche ébrieuse, désorientation, exacerbation, des réactions émotionnelles, propos incohérents et confusion mentale.
- A partir de 2.5 grammes, l'intoxication aiguë devient grave, les troubles neurologiques et de la vue sont importants, le coma peut survenir en fonction des susceptibilités individuelles, de la corpulence, de l'état de santé des consommateurs et de leur habitude à consommer.
- A partir de 3.5 grammes, le risque mortel progresse parallèlement à la teneur. A ce stade 100 % des intoxiqués sont comateux en hypothermie et présentent une mydriase, une hyporéflexie, une bradypnée, une inconscience et une dépression respiratoire.
- Certains auteurs décrivent des ivresses atypiques pouvant se présenter sous une forme excito-motrice caractérisée par le déchaînement brutal d'une agressivité aussi imprévue que redoutable pour des alcoolémies variables.

L'expert est souvent amené à commenter l'évolution d'une alcoolémie au cours du temps. Il lui faut tenir compte du délai qui sépare les faits du prélèvement sanguin, en effet, l'organisme sain d'un sujet consommateur occasionnel élimine en moyenne 0.15 gramme d'éthanol par litre et par heure. Cette vitesse peut être beaucoup plus rapide (deux à quatre fois) chez un buveur chronique immodéré.

Analytique

La recherche et le dosage de l'alcool et des autres toxiques volatils s'effectuent par chromatographie en phase gazeuse avec injection en l'espace de tête (ou « head-space », HS) et détection en ionisation de flamme ou en spectrométrie de masse [54 ; 22 ; 55]. La méthode chromatographique est officielle pour la détermination de l'alcoolémie depuis 1986 mais la méthode chimique de Cordobard datant de 1955 l'est également en dépit de ses insuffisances. Elle consiste à distiller un volume exactement mesuré, le plus proche de 10 ml de sang dilués dans une solution saturée d'acide picrique. L'alcool contenu dans le distillat est oxydé par une solution nitrochromique pour un dosage en double par iodométrie en retour avec du thiosulfate de sodium titré. Cette méthode bien que précise, n'est pas spécifique (tous les corps volatils réducteurs sont dosés comme de l'alcool) et doit être déconseillée aujourd'hui.

3.7. Métaux et métalloïdes

L'arsenic, archétype du poison depuis l'Antiquité, est un métalloïde dont l'usage comme poison criminel ou suicidaire sous forme d'anhydride arsénieux « morts aux rats » est devenu rare aujourd'hui mais sans doute mésestimé car sa recherche systématique était exceptionnelle avant l'avènement de l'ICP/MS (voir paragraphe 4) et les signes d'intoxication aiguë peu spécifiques pouvant évoquer une toxi-infection alimentaire. Par exemple l'ingestion de 150 à 200 mg d'anhydride arsénieux sans saveur et inodore conduit aux symptômes suivants : soif intense, anxiété, évanouissement, troubles gastro-intestinaux, vomissements, diarrhées sanglantes abondantes riziformes, céphalées, crampes douloureuses des membres, insuffisance rénale et mort en cinq à 24 heures ou rémission trompeuse un ou deux jours avant une aggravation mortelle en cinq à six jours avec éruption cutanée, purpura, accidents nerveux, gros foie douloureux, subictère.

L'intoxication par doses répétées pendant de longues périodes est également difficile à identifier car les signes cutanés caractéristiques sont souvent absents : bandes de Mees (stries brunes sur les ongles), mélanodermie en taches brunes à noires par placards irréguliers (cou, face, épaules, plis du coude, genoux), parfois érythème, ulcération, kératose de la plante des pieds et de la paume des mains, pigeonneaux aux niveaux des doigts, érosion et perforation de la paroi nasale. Les autres signes sont multiformes : insuffisance rénale (urémie), fatigue musculaire, polynévrite, photophobie, œdèmes, gingivites, vertiges, chute des cheveux, amaigrissement, stéatose hépatique. L'expert ne sera vraisemblablement pas sollicité devant ce tableau qui peut ne pas rendre la mort suspecte.

Les métaux recherchés en toxicologie médico-légale sont principalement **le thallium, le plomb, le cadmium, le mercure, le sélénium, l'antimoine, l'étain et le lithium**, médicament prescrit dans le traitement de la psychose maniaco-dépressive (voir paragraphe 2.1.3.)

Le dosage du **strontium (Sr)** est utilisé pour différencier la mort par noyade vitale (strontium élevé) d'une immersion après décès ou d'une hydrocution ($Sr < 40 \text{ ng/mL}$) [56 ; 57 ; 58]. Il est nécessaire, dans tous les cas, de confronter la teneur en strontium du sang de celle de l'eau du lieu de la noyade. Les bromures sont également utiles pour ce diagnostic de noyade en mer.

Analytique

Les techniques de recherche des métaux sont les spectroscopies d'absorption atomique en flamme ou en four [59 ; 60 ; 61] et désormais la spectroscopie d'émission à plasma inductif couplée à la spectrométrie de masse qui permet de faire un criblage rapide de 50 métaux dans les différents prélèvements biologiques [62 ; 63 ; 64]. Toutes destructives, ces méthodes ne conviennent pas à l'expertise de scellés très sensibles et de faible masse. Le recours à la fluorescence X conventionnelle voire à la fluorescence X sous rayonne-

ment de synchrotron est une alternative [65 ; 66]. Il y a peu de bénéfice à l'emploi de l'activation neutronique qui demeure très rare et altère significativement la matrice [67]. (Voir le principe de ces techniques au paragraphe 4).

3.8. Les pesticides et produits domestiques

Dans les pays industrialisés, la mortalité due aux pesticides est faible. Elle est davantage le fait de suicides voire d'empoisonnements criminels que d'accidents du travail. Ces derniers occasionnent plus de 200 000 victimes dans les pays pauvres. Cette famille de toxiques est très hétérogène. Elle comprend les insecticides, les rodenticides, les herbicides, les fongicides et les nématocides. On y trouve les organochlorés (DDT, Lindane, chlordane, dieldrine, endosulfan, etc.) aujourd'hui interdits mais d'énormes stocks existent encore, les organophosphorés (malathion, parathion... voir aussi chapitre XIV) considérés en France comme les plus meurtriers avec les carbamates comme l'aldicarb qui, comme eux, sont des neurotoxiques inhibiteurs des cholinestérases entraînant des décès par arrêt respiratoire.

A côté de ces principaux groupes, l'expert détecte parfois des fluoroacétates, des pyréthrénoïdes comme la delta méthrine, des anticoagulants coumariniques (bromadiolone, chlorphacinone, warfarine) assez peu redoutables pour l'adulte humain sauf à en consommer de très fortes doses dans un but suicidaire. Les rongeurs y étant très sensibles, les quantités utilisées sont généralement faibles.

Les accidents concernent les enfants qui sont généralement vus en milieu hospitalier, l'expert n'étant donc que rarement sollicité.

On recense également des alcaloïdes comme la strychnine, voire des minéraux comme les sels de cuivre et de thallium, le phosphore de zinc ou des cyanures. La strychnine est très peu utilisée dans son indication première de raticide en raison du danger perçu dans la violence de ses effets bien connus des usagers. En revanche, certains l'utilisent en très faible quantité pour retarder la sensation de fatigue. La méprise sur le dosage amène l'expert à le détecter dans des cas d'empoisonnement chez des sportifs mais également chez des toxicomanes car il n'est pas rare que la drogue soit adultérée par de la strychnine. Ce toxique est un inhibiteur d'un neuromédiateur de la moelle épinière et du tronc cérébral, responsable lors d'intoxication des contractures des membres et du corps très caractéristique en opisthotonos puis de la mort par arrêt respiratoire et paralysie médullaire.

Analytique

Voir chapitre 14 pour les organophosphorés et les carbamates ; les organochlorés exigent des techniques chromatographiques GC/DCE et MS. Voir paragraphe 3.5.2. pour les cyanures, voir paragraphe 3.7. pour les minéraux. Les autres nécessitent des techniques CG et HPLC/MS et MSⁿ, (voir paragraphe 4 pour les principes).

3.9. Les toxiques d'origine naturelle

Cet ouvrage ne saurait être exhaustif et bien que de nombreux végétaux produisent des composés chimiques qui en perturbant le métabolisme exercent une action toxique, il ne sera fait ici qu'un rapide survol. Par ailleurs parmi les plantes vénéneuses, celles dont l'ingestion de quantités minimales provoque un empoisonnement grave, voire mortel sont peu nombreuses et ces poisons végétaux sont peu utilisés aujourd'hui en

France à des fins criminelles. Dans ce groupe sont inclus les champignons toxiques responsables de syndromes fort connus (phalloïdien¹⁹, principale cause d'empoisonnement par champignons, orellanien²⁰, muscarinien ou sudorien²¹, myco-atropinien²², gyrométrien²³) mais finalement peu fréquents dans les causes médicolécales.

La mortalité en cas d'intoxication aux champignons est encore importante de nos jours (30% des cas) et il y a toujours un décalage important entre apparition des signes d'intoxication et ingestion des carpophores. Il est de 3 à 18 jours pour le cortinarius orellanus, de 6 à 12 heures pour l'amanite phalloïde, il peut cependant n'être que de 4 heures pour le syndrome sudorien des inocybes ou clitocybes, le syndrome myco-atropinien de l'amanite tue-mouches ou de l'amanite panthère et le syndrome gastro-intestinal de l'entolome livide.

15 à 20 % des plantes à fleurs contiennent des alcaloïdes, molécules azotées toxiques dont plus d'un millier sont répertoriées et jouent un rôle important en médecine comme principe actif de médicaments. Certains sont des poisons violents comme :

- l'aconit dont 12 grammes de racine (soit 0,25 mg d'aconitine) sont mortels en quelques minutes par paralysie respiratoire et défaillance cardiaque ;
- la belladonne dont l'atropine, l'hyociamine et la scopolamine présentes dans toute la plante tuent dans un tableau de soif intense, agitation, confusion, délire, hallucinations, mouvements convulsifs et troubles de l'accommodation visuelle, pupilles dilatées. L'ingestion de 10 baies tue un adulte, trois à quatre suffisent pour un enfant. La jusquiame et la stramoine ont une toxicité proche ;
- la grande ciguë qui renferme cinq alcaloïdes, dont la conicine commune à certains curares provoque la mort, après une paralysie et un oedème progressifs ascendants, en une à six heures par arrêt respiratoire dans un tableau de convulsions épileptiques et de délire furieux. Socrate en fut une célèbre victime au début du IV^{ème} siècle ;
- le tabac, fléau sanitaire bien connu, provoque par ingestion de trois cigarettes, un collapsus et une défaillance respiratoire mortels de l'adulte. La nicotine excite puis paralyse totalement les centres neurovégétatifs (une cigarette suffit pour un nourrisson) ;

¹⁹ Les phalloïdines et amanitines exercent une action cytotoxique par blocage de la synthèse de l'ARN messager et par suite des protéines. La dose mortelle adulte est de 30 à 50 grammes, un seul chapeau suffit pour un enfant. Les symptômes, précédés d'une phase de latence de 6 à 12 heures, sont d'abord des troubles gastro-intestinaux très violents : vomissements, diarrhée profuse et fétide, puis nerveux (anéantissement physique) et enfin une **hépatite fulminante**, dégénérescence graisseuse du cœur, des muscles du squelette, déshydratation, insuffisance rénale et hépatique. La mort survient **dans 90 % des cas par collapsus cardiaque en 36 à 48 h**.

²⁰ L'orellanine principalement contenue dans le cortinaire couleur de roucou (cortinarius orellanus) lèse gravement le rein et à un moindre degré le foie, le pancréas, les surrénales, les glandes salivaires, les testicules, les ganglions lymphatiques. La mort est due à l'insuffisance rénale.

²¹ La muscarine des clitocybes, de l'inocybe patouillard, et de la russule émétique, à l'inverse de l'atropine, entraîne une sensation de chaleur, des sueurs ruisselantes, une hypersécrétion salivaire et lacrymale, des difficultés respiratoires, une bradycardie, un myosis ainsi que des vomissements et des coliques intestinales. La mort peut survenir par collapsus cardiovasculaire.

²² La myco-atropine (ou muscaridine) est contenue dans l'amanite tue-mouches et surtout dans l'amanite panthère, qui renferment aussi plus ou moins de muscarine mais l'effet anticholinergique de l'atropine domine : mydriase, assèchement des sécrétions, vomissements diarrhéiques, troubles nerveux avec excitation cérébrale, ivresse, vertige, hallucinations, délire. La muscazone et l'acide iboténique seraient responsables des hallucinations.

²³ Le syndrome gyrométrien s'observe après consommation de fausses morilles (gyromitra esculenta) mais aussi de nombreux autres champignons comme l'entolome livide, le tricholome tigré, les clavaires... en cause la gyrométrine qui est responsable d'un déficit en acide gamma amino-butérique (GABA) à l'origine de convulsions avec évanouissement puis d'une hépatotoxicité avec ictère hémolytique. Le syndrome s'accompagne de vomissements, diarrhées violentes, spasmes et douleurs abdominales et troubles neurologiques. La mort peut survenir après 2 à 14 jours par destruction du foie.

- l'if est cardiotoxique par la taxine présente dans toute la plante sauf dans la pulpe de son arille vermillon. Comme la nicotine, elle stimule puis paralyse les centres nerveux. La mort peut être subite ou succéder à des troubles digestifs intenses, des hallucinations et des convulsions. L'intoxication suicidaire voire criminelle n'est pas exceptionnelle par absorption d'une décoction d'aiguilles et de graines écrasées ;
- les plantes à hétérosides soit cardiotoniques (voir le paragraphe 3.3.1.) digitales (figure 19), laurier-rose, muguet, soit cyanogénétiques (amandes de cerises, prunes, pêches) donnent lieu à de rares intoxications accidentelles (voir le paragraphe 3.5.2.) ;
- le ricin dont cinq ou six graines écrasées mâchées par un enfant constituent une dose mortelle par hémorragie digestive. La ricine injectée par voie parentérale (parapluie bulgare) est 100 à 1 000 fois plus toxique entraînant la mort rapide par défaillance des organes vitaux.



Figure 19 Digitale pourpre (*Digitalis purpurea*)

4. Les techniques analytiques

4.1. Traitement et préparation des prélèvements

(Voir aussi le chapitre 14)

La grande majorité des techniques analytiques nécessitent une étape d'extraction des prélèvements biologiques au préalable. Cette étape très importante pour l'analyse des composés dans les fluides biologiques, permet de casser les liaisons xénobiotiques/protéines afin d'éliminer ces dernières, de purifier les échantillons, de concentrer les toxiques dans un volume réduit de solvant et ainsi de diminuer les limites de détection.

Les techniques d'extraction se basent sur les caractéristiques physico-chimiques des molécules à extraire : hydrophobicité, polarité, pKa ... Ainsi les toxiques sont extraits de leur milieu par des mélanges de solvants appropriés ou par l'emploi de colonnes d'extraction adaptées, en faisant varier les conditions de pH afin d'être le plus exhaustif possible ou pour extraire la classe de molécules désirée. Les techniques d'extraction les plus usuelles sont les suivantes.

4.1.1. La méthode d'extraction de Stas Otto et Ogier

Elle permet de réaliser l'extraction de tous les toxiques organiques non volatils par épuisements successifs du milieu biologique analysé, après élimination des protéines, lipoprotéines, lécithines et de certaines impuretés par précipitations en gradient d'alcool croissant, avec différents solvants en milieu acide puis alcalin. Cette technique est principalement utilisée pour traiter des quantités importantes de matières telles que les viscères ou le contenu gastrique.

4.1.2. L'extraction liquide-liquide

L'extraction liquide-liquide (LLE) s'applique à tous les types d'échantillons biologiques : sang, urine, contenu gastrique ou broyats de viscères. Le principe de l'extraction liquide-liquide repose sur les propriétés de solubilité des composés dans deux solvants non miscibles, classiquement l'eau et un solvant organique. Un grand nombre de toxiques sont lipophiles (au moins à un pH choisi), il est donc aisé de les transférer d'une phase aqueuse de type sang ou urine vers une phase organique par simple agitation puis décantation

des deux milieux mélangés dans un récipient adéquate (ampoule à décanter, tubes etc.). On choisit des solvants organiques selon leur polarité et les molécules à isoler. Les molécules acides sont alors extraites par lesdits solvants à pH acide, les molécules basiques à pH basique. Pour ces molécules, souvent des bases ou des acides faibles, le réglage du pH de la phase aqueuse permet de faciliter l'extraction et de procéder à des lavages poussés de la phase organique.

4.1.3. L'extraction en phase solide

L'extraction en phase solide (SPE) consiste à faire interagir les toxiques à extraire avec une phase solide aux propriétés physico-chimiques appropriées. La phase solide est généralement contenue dans de petites colonnes. On y dépose directement le fluide biologique.

Les phases d'extraction sont de nature variée. Les phases non polaires (C18, C8, Ph etc.) sont les plus utilisées du fait de leur universalité. Les phases polaires (CN, NH₂, OH) et les phases échangeuses d'ions (SO₃⁻, CO₂⁻, NH₃⁺) sont aussi régulièrement utilisées pour extraire des composés spécifiques. Pour effectuer des extractions plus sélectives notamment d'énantiomères, des phases de polymères à empreintes moléculaires sont disponibles. L'impression moléculaire (MIP) consiste à «mouler» l'empreinte de molécules chimiques cibles dans un réseau de polymère organique tridimensionnel. Seules les molécules cibles sont retenues sur cette phase. La SPE est de plus en plus employée car elle permet une automatisation de l'extraction. Néanmoins, si le milieu biologique n'est pas assez fluide, comme c'est souvent le cas avec le sang total et avec les liquides hématiques de cadavres, la colonne tend à se boucher.

4.1.4. La micro-extraction sur phase solide

La micro-extraction sur phase solide (SPME) permet de coupler l'extraction à l'analyse chromatographique gazeuse ou liquide sans nécessiter de solvant et en n'utilisant qu'un très faible volume d'échantillon. Dans un premier temps, une fibre placée dans une aiguille amovible est plongée soit directement dans l'échantillon, soit au-dessus de lui en technique « espace de tête » (voir plus loin). Les solutés se concentrent sur cette phase solide polymère. Dans un deuxième temps, les composés sont désorbés de la fibre et transférés vers la colonne chromatographique pour être séparés puis détectés.

4.1.5. L'extraction immunochimique

L'extraction immunochimique est parfois nécessaire lorsque le milieu d'analyse est particulièrement altéré en particulier pour le LSD dont les teneurs sanguines et urinaires sont extrêmement faibles. On procède à l'aide de colonnes d'immunosorbant sur lequel sont fixés des anticorps spécifiques des analytes à extraire. Leur éluat par solvants appropriés peut être purifié par un des procédés précédemment décrits [68 ; 69].

4.2. Méthodes séparatives

Les méthodes séparatives ont pour objectif de séparer, identifier puis quantifier les constituants d'un mélange plus ou moins complexe en fonction de leurs propriétés physico-chimiques.

Les méthodes chromatographiques sont les plus utilisées. La séparation se fait dans une colonne contenant une phase solide stationnaire. Le mélange à séparer est introduit sur cette colonne au moyen d'un injecteur puis entraîné par une phase mobile gazeuse ou liquide. On parle alors respectivement de chromatographie en phase gazeuse (GC) ou en phase liquide (LC). Les molécules à forte affinité pour la phase stationnaire atteignent en dernier la sortie de colonne où elles sont détectées. Le détecteur fournit alors un signal proportionnel à la quantité de produit qui est passé à travers lui. Chaque molécule peut donc être quantifiée.

4.2.1. La chromatographie en phase gazeuse

La chromatographie en phase gazeuse (GC) s'applique aux molécules volatiles ou facilement volatilisables et thermiquement stables, par dérivation²⁴ (silylation, alkylation, acylation, etc.). La dérivation est une opération qui consiste à adjoindre par voie chimique un ou plusieurs groupements chimiques sur les molécules pour améliorer leur volatilité, leur stabilité et leur résolution chromatographique.

Pour introduire le mélange analysé en GC dans la colonne de séparation, il existe plusieurs types d'injecteurs :

- l'injecteur avec ou sans division (*split/splitless*) est le plus polyvalent et le plus répandu. L'injection s'effectue alors dans une chambre de vaporisation où le solvant et les composés passent en phase gazeuse sous l'effet de la température. Un flux de gaz entre alors dans cette chambre, entraîne les composés et se répartit entre la colonne et une vanne de purge si le mode avec division est choisi. Ceci permet de réduire ou augmenter le volume de la fraction d'échantillon injecté ;
- l'injecteur on-column refroidi ne requiert pas d'étape de vaporisation, l'injection a lieu directement à l'intérieur de la colonne analytique, ce qui permet de ne pas chauffer les échantillons et d'éviter la dégradation de composés thermolabiles ;
- l'injecteur vaporisateur à température programmée (VTP) combine les avantages des deux injecteurs précédents puisque l'échantillon est d'abord introduit dans l'insert froid d'une chambre de vaporisation puis chauffé rapidement pour subir une injection classique avec ou sans division. Ce type d'injecteur nécessite davantage de mise au point ;
- l'injecteur en espace de tête (*head-space = HS*) est principalement utilisé pour la détection de substances volatiles. Un échantillon solide ou liquide est placé dans un flacon hermétiquement scellé et thermostaté. Les substances volatiles ou gazeuses dissoutes sont dégagées et stabilisées sous forme gazeuse dans l'atmosphère du flacon en équilibre avec l'échantillon liquide. Une partie calibrée de l'atmosphère est injectée.

4.2.2. La chromatographie liquide haute performance

La chromatographie liquide haute performance (HPLC) est plus versatile que la GC qui ne s'applique pas aux composés non volatilisables, polaires, thermolabiles ou de haut poids moléculaire.

L'introduction de l'échantillon dans la colonne d'HPLC est plus simple et plus facilement automatisable dans un ensemble « préparation d'échantillon/injection ». L'équipement de base comporte une boucle d'échantillonnage calibrée, généralement une vanne RHEODYNE d'une capacité réglable de 10 à 1000 µl remplie de l'échantillon à étudier dans la phase mobile ou un solvant qui lui est compatible et introduit, sans variation de pression, dans le circuit allant des pompes vers l'entrée de la colonne.

4.2.3. Autres techniques

Afin de réduire les temps d'analyse, des techniques telles que la fast-GC [70 ; 71], l'ultra-fast GC [72], la fast-LC ou l'UPLC (Ultra Performance Liquid Chromatography) ont vu le jour. Le congrès international du TIAFT à Genève, en août 2009, s'en est fait largement l'écho [73 ; 74 ; 75].

D'usage moins courant en toxicologie médico-légale, les méthodes électrophorétiques complètent l'arsenal des techniques séparatives. Le principe de l'*électrophorèse capillaire* repose sur le déplacement d'ions dans un champ électrique. Du fait de leurs caractéristiques propres et en fonction des conditions de l'électrophorèse, ces ions ont des vitesses de migration différentes, ils vont donc se séparer les uns des autres [76].

²⁴ Dérivation (souvent indiquée par erreur « dérivatisation » en transposition du terme anglais dérivatization).

4.3. Méthodes de détection

Les molécules ayant été séparées, il est nécessaire de les détecter. Pour ce faire, il existe de nombreuses techniques qui peuvent être, ou non, communes à la GC et à l'HPLC. Selon le détecteur, la sensibilité est plus ou moins grande de même que la spécificité vis-à-vis d'un type de molécule. Les différents principes sont brièvement décrits ci-après.

4.3.1. Détecteurs classiquement utilisés avec la GC en toxicologie médico-légale

Le détecteur à ionisation de flamme (FID) utilise une flamme d'hydrogène et d'air pour ioniser les composants de l'échantillon. Ces ions sont recueillis par une électrode dont le potentiel est différent de celui du jet d'hydrogène. Le courant mesuré sur l'électrode collectrice est fonction du débit massique des composants de l'échantillon. Ce détecteur n'est applicable qu'aux molécules qui s'ionisent dans les flammes hydrogène-air telles que les hydrocarbures.

Le détecteur à capture d'électrons (ECD) utilise une chambre d'ionisation dans laquelle le gaz provenant de la colonne est ionisé par une source radioactive. Les électrons ainsi générés sont capturés par les molécules de l'échantillon, ce qui provoque par rapport au seul flux de gaz porteur une variation du courant induit dans la chambre d'ionisation. Pour collecter les ions, on applique transversalement à la chambre de réaction une tension négative soit constante, soit intermittente. La variation de signal en résultant est fonction de la concentration du composant intéressant de l'échantillon. Ce détecteur est bien adapté aux molécules halogénées telles que les benzodiazépines et les gaz anesthésiques.

Le détecteur thermoionique ou détecteur azote-phosphore (NPD) a une construction similaire à celle du détecteur à ionisation de flamme. Il fonctionne aussi sur la variation de la conductibilité électrique d'une flamme d'hydrogène mais dans ce cas celle-ci est placée au contact d'une pastille de sels de métaux alcalins (bromure ou chlorure de césium, de rubidium). En présence du seul gaz vecteur, ce sel, par volatilisation, émet des ions qui sont collectés comme précédemment par les électrodes. Le courant ainsi recueilli est donc le courant de base. Lorsque des composés, halogénés ou azotés, sont présents dans l'éluat, le nombre d'ions émis grâce à la proximité du sel alcalin est multiplié par dix ou par cent selon le sel employé, augmentant d'autant la sensibilité du détecteur. Certaines réalisations sont constituées d'un verre ou d'une céramique contenant le composé alcalin comme du silicate de rubidium. Ce verre est alors chauffé au moyen d'une résistance électrique. Ce détecteur est dédié à l'analyse des alcaloïdes, médicaments et pesticides organophosphorés.

4.3.2. Détecteurs utilisés de préférence par l'HPLC

Le détecteur UV fonctionne en enregistrant la lumière absorbée par les molécules d'un faisceau incident. L'absorbance est proportionnelle à la concentration. Il existe trois types de détecteurs UV, ceux aux longueurs d'onde fixes, aux longueurs d'onde variables et les détecteurs à barrette de diodes (BAD). Les deux derniers peuvent scanner suffisamment rapidement le spectre UV entier et permettent d'en obtenir des spectrogrammes d'absorption moléculaire pour toutes les longueurs d'onde sans perte résolutive. Ceci augmente la sélectivité. Les détecteurs à BAD sont très utilisés en toxicologie médico-légale [77 ; 78]

Le détecteur à fluorimétrie (DFL) mesure la fluorescence restituée par l'échantillon après que ce dernier ait été excité par une longueur d'onde particulière. Ce détecteur, sensible qu'à certaines molécules fluorescentes, est sélectif et d'une polyvalence médiocre améliorable en greffant un groupement fluorophore sur certaines molécules en sortie de colonne HPLC.

Le détecteur électrochimique (DE) qui mesure soit la conductance de l'éluant, soit le courant associé à l'oxydation ou la réduction des solutés et **le détecteur à réfractométrie (DR)** qui utilise la variation de l'indice de réfraction du liquide à la sortie de la colonne sont d'usage moins courant.

4.3.3. Détecteurs associés indifféremment à la GC et l'HPLC

Le détecteur de spectrométrie de masse (MS) est probablement celui qui donne le plus de renseignements. Non seulement il permet l'identification des composés et leur analyse quantitative mais il offre aussi une haute sensibilité. En théorie, il s'agit d'un détecteur universel et peut être utilisé pour tout analyte.

Le principe de la MS consiste à provoquer l'ionisation d'une molécule et sa dissociation éventuelle en fragments ionisés et à déterminer la nature et l'abondance de l'ensemble de ces ions. L'ionisation s'effectue dans la source d'ionisation. Les ions extraits de la source sont alors focalisés puis accélérés par des lentilles électroniques pour accroître leur énergie cinétique. Ils sont ensuite séparés selon leur rapport masse/charge (m/z) dans un ou plusieurs analyseurs et terminent leur course en venant frapper le capteur d'un détecteur. L'ionisation peut être obtenue de diverses façons :

- **l'ionisation électronique (EI)** où des électrons émis par un filament rencontrent les molécules qui entrent dans la source et leur arrachent un électron formant alors une molécule ionisée. Cette dernière peut ensuite se fragmenter ;
- **l'ionisation chimique (CI)** à l'aide d'un gaz réactif introduit dans la source et ionisé par impact électronique comme en EI. Les ions ainsi formés peuvent alors réagir avec les molécules d'analytes arrivant dans la source et transformer ces dernières en ions [79].

Les ionisations EI et CI, qui nécessitent un certain niveau de vide, sont préférentiellement utilisées en couplage avec la GC.

Pour les couplages avec l'HPLC, l'ionisation est plus délicate du fait de l'état du milieu : l'interface entre l'HPLC et la MS doit traiter un échantillon liquide. Les deux principaux types de sources d'ionisation utilisées en toxicologie médico-légale sont l'électrospray (ESI) et l'ionisation chimique à pression atmosphérique (APCI) :

- **l'ESI** permet une ionisation à pression atmosphérique après désolvatation du milieu par un champ électrique intense qui génère une densité de charges extrême sur les gouttelettes de l'éluat. La taille des gouttelettes diminue en perdant les molécules de solvant jusqu'au point où leur densité de charges est tellement importante qu'elles explosent et libèrent des molécules ionisées.
- **l'APCI** s'opère sur un nébulisat d'échantillons obtenu par voie pneumatique sous l'effet d'un jet d'air ou d'azote. La vapeur obtenue est alors ionisée chimiquement (NH_3 , CH_4 , isobutane, etc.) à pression atmosphérique.

Les deux principaux analyseurs de masse utilisés sont :

- **l'analyseur quadripolaire (AQ)** qui est constitué de quatre électrodes parallèles. La différence de potentiel créée entre chaque paire d'électrodes détermine la trajectoire de chaque ion selon son rapport m/z . Un système de réglage rend possible le choix des ions de rapport m/z défini qui atteindront le détecteur d'ions. La sélection des ions s'effectue dans l'espace ;
- **la trappe ionique (TI)** qui est composée de trois électrodes. Différentes tensions sont appliquées à ces électrodes, ce qui permet de former une cavité dans laquelle les ions sont enfermés. Les ions y suivent une trajectoire oscillante mais stable. Leur trajectoire exacte dépend des tensions appliquées et de leur rapport m/z . Pour les détecter, les potentiels sont modifiés pour déstabiliser les trajectoires des ions et les éjecter l'un après l'autre par une « sortie » vers le détecteur selon leur rapport m/z . La sélection s'effectue dans le temps et non dans l'espace comme précédemment.

L'utilisation de la spectrométrie de masse en tandem et MS^n améliore la sensibilité et la spécificité de la technique. Elle consiste à effectuer des fragmentations d'ions successives. Après sélection par une première spectrométrie de masse d'un ion choisi comme caractéristique de la molécule suspecte, cet ion dit « parent » est fragmenté dans une cellule de collision, puis une deuxième spectrométrie de masse sur les fragments générés est effectuée produisant ainsi des ions « fils ».

La trappe d'ions peut fragmenter les ions n fois. Le processus s'effectue entièrement dans la trappe. Cette dernière isole l'ion « parent ». Il est ensuite cassé par collision et les ions « fils » formés sont à leur tour

piégés. L'éjection de ces ions en fonction de leur rapport m/z permet l'obtention du spectre de masse MS^2 . En renouvelant ce processus n fois, on peut obtenir un spectre de masse MS^n .

Un triple quadripôle permet d'obtenir des spectres de masse MS^2 . Il résulte de l'association de deux analyseurs quadripolaires en série, séparés par une cellule de collision souvent constituée d'un quadripôle plus court. Le premier quadripôle sélectionne l'ion « parent » qui entre alors dans la cellule de collision où il entre en collision avec un gaz inerte et se fragmente. Le troisième quadripôle permet de sélectionner l'ion ou les ions « fils » choisis.

Les différents couplages entre les techniques séparatives et les détecteurs de masse ont fait grandement progresser l'analyse forensique [80].

La spectrométrie de masse haute résolution trouve depuis quelques années sa place dans les laboratoires de toxicologie. Elle utilise dans la majorité des cas un analyseur à temps de vol (TOF) couplé ou non à un ou plusieurs quadripôles ou à une trappe ionique. Cette technique qui donne accès à la masse exacte des substances (UMA à la 4^{ème} voire 5^{ème} décimale) permet de différencier des espèces isobares. En réalisant de la MS^2 ou MS^n , il est même possible de différencier des composés isomères grâce à l'élucidation de leur structure. Cette technique est donc hautement sélective et spécifique. Elle présente également un deuxième grand intérêt : l'analyse rétrospective. Plus besoin d'avoir la structure de la molécule dans sa méthode au moment de l'analyse ; avec la haute résolution, le produit peut-être identifié sans refaire les étapes « extraction/analyse », seule l'interprétation des données est réalisée. Ainsi, il est possible de revenir sur des données datant de plusieurs mois afin de vérifier que le stupéfiant nouvellement connu, par exemple, était présent ou non dans un sang antérieurement analysé. Le développement en cours de ces techniques a conduit la Société Française de Toxicologie Analytique à dédier une journée en 2012 à la masse exacte.

Autres techniques : récemment, la toxicologie analytique bénéficie du développement et de la vulgarisation de techniques jusqu'alors réservées à la physique plus fondamentale ou à d'autres domaines. Elles ont des applications de plus en plus intéressantes : le MALDI-TOF (désorption-ionisation laser assistée par matrice – Temps de vol) qui est un couplage entre la technique MALDI (technique d'ionisation par matrice) et la spectrométrie de masse dite à temps de vol. Cette technique est particulièrement utile à l'analyse de biomolécules (protéines, peptides, sucres, etc.) et de molécules organiques à haut poids moléculaire. L'extrême précision de la mesure de masse (5 décimales) en fait une méthode de détection d'une très grande spécificité [81].

4.4. Méthodes spectrométriques

Les techniques précédentes permettent d'analyser des composés organiques mais d'autres doivent être dévolues aux métaux et métalloïdes dont certains sont seulement témoins de processus mortels comme le strontium et le brome pour la noyade et d'autres plus nombreux entraînant des intoxications qui ne sont pas exceptionnelles.

Les techniques de recherche des éléments métalliques dans les milieux biologiques sont les spectroscopies d'absorption atomique en flamme ou en four et désormais la spectroscopie d'émission à plasma inductif couplée à la spectrométrie de masse qui ont supplanté la spectroscopie d'arc ou d'étincelles. D'autres techniques telles que la fluorescence X^{25} ou l'activation neutronique existent mais restent d'utilisations plus rares bien qu'utiles lorsque les échantillons analysés sont de très faibles taille ou masse et lorsque leur intégrité est requise (par exemple un ou deux cheveux) car contrairement aux précédentes, ces techniques ne sont pas destructives.

²⁵ La fluorescence X est la production élémentaire de photons X caractéristiques de l'élément qui les émet et qui sont générés sous l'impact d'un projectile qui doit atteindre les couches électroniques profondes d'une cible avec une énergie supérieure à leur énergie de liaison électronique. Par exemple pour la couche K de l'arsenic il faut au moins 11,9 KeV. Les photons X de rayonnement synchrotron ont supplanté les électrons (AMPA) et les protons (PIXE) grâce aux lentilles de diffraction de Bragg-Fresnel et aux miroirs de Kirkpatrick-Baez (gravés comme des lentilles submicroniques). L'intensité de fluorescence varie avec Z à la puissance 4, autorisant des sensibilités de d'un ng/g dans des matrices de l'ordre du microgramme.

4.4.1. La spectrométrie d'absorption atomique

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est basée sur le principe que les atomes libres peuvent absorber la lumière de certaines longueurs d'ondes. L'absorption de chaque élément est spécifique. La SAA ne permet l'analyse que d'un élément à la fois.

La détermination spectroscopique d'espèces atomiques peut seulement être réalisée à partir d'un échantillon à l'état gazeux, dans lequel les atomes individuels sont nettement séparés les uns des autres. Il faut de la chaleur pour faire passer l'échantillon à l'état gazeux et effectuer l'atomisation. La chaleur est générée par une flamme ou un four en graphite. La SAA de flamme analyse seulement les solutions, tandis que la SAA en four de graphite analyse les solutions, les boues liquides et les échantillons à l'état solide.

La source de mesures pour l'absorption atomique la plus courante est la lampe à cathode creuse. Elle consiste en une anode de tungstène et une cathode cylindrique sise dans un tube en verre contenant un gaz inerte, comme l'argon. La cathode est composée de l'élément à analyser. Les ondes lumineuses - dont les longueurs d'onde correspondent à l'élément dosé - sont absorbées par les atomes excités présents. L'absorption est mesurée à l'aide d'un prisme dispersif et d'une cellule photoélectrique : elle est directement proportionnelle à la concentration de l'élément. Des systèmes de correction de bruit de fond, fréquent et très invalidant pour ce type d'analyse, existent : lampe au deutérium ou système électromagnétique de Zeeman.

4.4.2. La spectrométrie d'émission atomique

La spectrométrie d'émission atomique (SEA) est basée sur le principe que les atomes qui sont stimulés à de hauts niveaux d'énergie peuvent se désintégrer à des niveaux plus bas en émettant de la lumière. L'émission de chaque élément est spécifique. Comme la SAA, la SEA ne permet l'analyse que d'un élément à la fois.

Les atomes de la substance à analyser dans la solution sont aspirés dans la région de stimulation où ils sont dissous, vaporisés et atomisés par une flamme, une décharge, ou un plasma. Au moment où les atomes se désintègrent pour atteindre leur niveau fondamental, la radiation émise passe par un monochromateur qui isole la longueur d'ondes particulière propre à l'analyse souhaitée. Une cellule photo-détectrice mesure alors le flux énergétique de la radiation sélectionnée.

4.4.3. Le plasma à couplage inductif relié à la spectrométrie de masse

Le plasma à couplage inductif relié à la spectrométrie de masse (ICP/MS) permet la détection et le dosage de plus de cinquante éléments minéraux sur les solutions à des teneurs très inférieures à 1 µg/L en une seule analyse.

Cette technique est basée sur le couplage d'une torche à plasma générant des ions et un spectromètre de masse quadripolaire pour séparer ces ions en masse. L'échantillon liquide est amené jusqu'à la torche à plasma par une pompe péristaltique. Au contact avec l'argon, l'échantillon est alors nébulisé, puis transporté au centre du plasma où les températures atteignent 6 000 à 8 000° C. L'échantillon est alors atomisé puis ionisé dans sa totalité sous forme de cations monovalents. Une interface composée de deux cônes de nickel et d'une série de lentilles permet de stopper les photons et de focaliser les ions pour les amener au spectromètre de masse pour les séparer en masse et les détecter.

4.5. Méthodes immunochimiques

Les tests immunochimiques [82] sont très utilisés en toxicologie médico-légale, notamment pour effectuer des dépistages rapides que ce soit sur le bord de la route par l'officier de police judiciaire à l'aide d'un test unitaire simple (languettes ou cartes) plongé dans les urines ou la salive de contrevenants, ou en laboratoire sur des automates multiparamétriques. Leur principal avantage est qu'ils ne nécessitent pas de phase préliminaire d'extraction [83 ; 84 ; 85].

Toutes les techniques immunochimiques utilisent un récepteur protéique ou un anticorps (Ac) spécifique d'une molécule ou d'une famille chimique à doser ainsi qu'une forme marquée de ce même analyte ou d'un second anticorps capable de repérer la première combinaison. En mettant en contact des anticorps, la molécule marquée (M^*) et la molécule non marquée (M) d'un échantillon à doser, il se forme deux types de complexes : $Ac-M^*$ et $Ac-M$. Ces deux complexes sont en compétition. Plus il y aura de M dans le mélange, moins on obtiendra de complexe $Ac-M^*$. La mesure du complexe $Ac-M^*$ peut donc être reliée à la quantité de M présente dans l'échantillon à analyser.

Il existe deux principales techniques de quantification de la réaction immunochimique : les radio-immunos dosages et les immunodosages optiques.

Lors de *radio-immunos dosages*, des isotopes radioactifs sont utilisés pour marquer la molécule (M^*).

Les immunodosages optiques peuvent encore se séparer en plusieurs groupes, la technique enzymatique (EMIT), l'immunopolarisation de fluorescence (FPIA), la technique ELISA...

- **En EMIT**, la molécule à doser est marquée par une enzyme (M^*). Lorsque cette molécule est liée à un anticorps ($Ac-M^*$), l'enzyme ne peut exercer son activité. Lors de l'introduction de l'échantillon contenant la molécule non marquée (M), le complexe ($Ac-M^*$) se déforme au profit de la formation du complexe ($Ac-M$). La molécule marquée M^* libérée, l'enzyme retrouve son activité et peut réagir avec un substrat. Cette activité est mesurée par exemple en UV.
- **En immunopolarisation de fluorescence**, on exploite la différence de rotation de la lumière d'un fluorophore libre ou lié mais le principe est le même que celui décrit ci-dessus.
- **La technique ELISA** requiert un support (puits) sur lequel est fixé un anticorps de forte affinité pour l'analyte ciblé et qui fixe ce dernier au cours d'une incubation. Après lavage éliminant toute substance non liée, l'analyte est incubé avec un second anticorps conjugué à une enzyme et révélé par son substrat spécifique. L'intensité de coloration mesurée est inversement proportionnelle à la quantité d'analyte présente dans l'échantillon [86].

Ces techniques largement distribuées sur le marché sous forme de kits prêts à l'emploi (Syva rapid test™, Rapid drug Sreen™, Rapitest™ et Teststik™) ne permettent qu'un dépistage préliminaire car des risques de croisements d'activité anticorps vis-à-vis de différentes molécules peuvent donner des faux positifs. C'est par exemple le cas entre l'acide niflurique et ses dérivés à l'égard des anticorps anti THC ou de plusieurs amines de putréfaction avec les anticorps anti amphétamine. Ainsi, tout résultat positif en immuno chimie doit être confirmé par une technique séparative d'identification. D'autre part, les seuils de sensibilité varient selon les tests et les molécules recherchées. Il est donc nécessaire de s'assurer de la pertinence des moyens de recherche mis en œuvre.

Une évolution de ces moyens analytiques est le développement de « biopuces », micro systèmes multiparamétriques qui peuvent de plus associer l'étape d'extraction à l'étape de séparation. Ils sont fondés sur la reconnaissance moléculaire au moyen d'anticorps, d'enzyme ou de récepteurs mais aussi d'oligonucléotides synthétiques capables de fixer spécifiquement un ligand ou catalyser une réaction ou encore de diverses cyclodextrines ou éthers couronnes complexantes voire des polymères à empreinte moléculaire...). Ces systèmes sont fixés et stabilisés sur micro ou nanoparticules ou sur micromembranes. Ces moyens permettent des analyses simultanées à haut débit (3600 tests/h) à partir de quantités infimes de matrice (1 μ L/analyte). La technique Multiples Array Technology (MBAT) utilise le principe de la méthode ELISA avec détection par chimioluminescence et lecture simultanée sur chaque nanorégion de la puce par une technologie d'imagerie numérique. Des biopuces adaptées aux matrices complexes de la toxicologie médico légal (sang post-mortem, urine, humeur vitrée, bile, contenu gastrique, tissus) sont désormais disponibles pour une très large gamme de médicaments et drogues.

5. Conclusion

Il y a cinquante ans, avec des kilogrammes d'organes et plus d'une dizaine de millilitres de sang, les chances de détection d'un toxique étaient infimes et son dosage illusoire. Aujourd'hui, grâce à la miniaturisation des composants électroniques, aux progrès considérables de l'informatique et à la vulgarisation de méthodes jusqu'alors réservées à la recherche fondamentale, l'expert dispose en toxicologie analytique d'outils performants qui lui permettent de se contenter de quelques grammes de viscères ou de quelques microlitres de fluide biologique pour identifier et quantifier le moindre xénobiotique.

En dépit de la fiabilité et de la précision des résultats souvent déterminants, il convient de préciser que l'analyse toxicologique est cependant le plus souvent insuffisante à elle seule pour étayer une explication plausible à la mort d'une victime. Cette explication doit être fondée sur un ensemble de critères qui associe aux données analytiques, anamnèse, constatations cliniques ou autopsiques, savoir-faire du laboratoire et expérience de l'expert. Toutefois, les conclusions restent tributaires de nombreux paramètres dont des facteurs génétiques (polymorphisme génétique) et physiologiques propres à chaque être humain (métabolisme plus ou moins rapide, sensibilité à la toxicité des produits plus ou moins marquée, etc). L'influence parfois majeure de ces derniers, dont l'étude s'intensifie depuis peu, est déjà démontrée pour de nombreux xénobiotiques. Le chapitre suivant a pour objet de montrer les possibilités et difficultés de l'expertise toxicologique au sein de ses nombreux domaines d'application.

6. Bibliographie

- 1) Meyerhof M. On the transmission of greek and Indian sciences to the Arabs. *Islamic culture*. 1937 ;11 : 17-29.
- 2) Chast F. Les stupéfiants en France : La conscience (1845) du vice (1916) et de la vertu (1999) *Acta - Congressus Historiae Pharmaciae* 2001. Et *Histoire contemporaine des médicaments* 2ème édition. 2003.
- 3) Affaire Lafarge : Marie LAFARGE née CAPELLE, la vraie Madame BOVARY
<http://faitsdivers.blog4ever.com/marie-lafarge-nee-capelle-la-vraie-madame-bovary>
- 4) René Hericotte. Marie Besnard. Ou la justice empoisonnée. édition J.A. Paris. 1980. ISBN 2-85258-186-8. <http://www.faireaucivilise.com/fr-procesdusiecle0906.htm>
- 5) Dictionnaire Vidal
<http://www.vidal.fr/les-produits-professionnels/vidalpro>,
- 6) Banque de données BIAM
<http://www.biam2.org/accueil.html>
- 7) Banque de données THERIAQUE
<http://www.theriaque.org>,
- 8) Hefnawy M. Analysis of certain tranquilizers in biological fluids, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2002 ; 27 : 661–678.
- 9) Karpinska J, Starczewska B. Simultaneous LC determination of some antidepressants combined with neuroleptics, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2002 ; 29 : 519–525.
- 10) Kratzsch C, Tenberken O, Peters FT, Weber AA, Kraemer T, Maurer HH. Screening, library-assisted identification and validated quantification of 23 benzodiazepines, flumazenil, zaleplone, zolpidem and zopiclone in plasma by liquid chromatography/mass spectrometry with atmospheric pressure chemical ionization, *J. Mass Spectrom*. 2004 ; 39 (8) : 856–872.
- 11) Pirnay S, Ricordel I, Libong D, Bouchonnet S. Sensitive method for the detection of 22 benzodiazepines by gas chromatography-ion trap tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*. 2002 ; 954 : 235-245.
- 12) Smink BE, Brandsma JE, Dijkhuizen A, Lusthof KJ, de Gier JJ, Egberts ACG, Uges DRA. Quantitative analysis of 33 benzodiazepines, metabolites and benzodiazepine-like substances in whole blood by liquid chromatography–(tandem) mass spectrometry, *Journal of Chromatography B*. 2004 ; 811 : 13-20.
- 13) Capella-Peiro ME, Gil-Agusti M, Martinavarró-Dominguez A, Esteve-Romero J. Determination in serum of some barbiturates using micellar liquid chromatography with direct injection, *Analytical Biochemistry*. 2002 ; 309 : 261–268.

- 14) Iwai M, Hattori H, Arinobu T, Ishii A, Kumazawa T, Noguchi H, Noguchi H, Suzuki O, Seno H. Simultaneous determination of barbiturates in human biological fluids by direct immersion solid-phase microextraction and gas chromatography–mass spectrometry, *Journal of Chromatography B*. 2004 ; 806 : 65–73.
- 15) Namera A, Yashiki M, Iwasaki Y, Ohtani M, Kojima T. Automated procedure for determination of barbiturates in serum using the combined system of PrepStation and gas chromatography–mass spectrometry, *Journal of Chromatography B*. 1998 ; 716 : 171–176.
- 16) Karpinska J, Starczewska B. Simultaneous LC determination of some antidepressants combined with neuroleptics, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2002 ; 29 : 519–525.
- 17) Lacassie E, Ragot S, Gaulier JM, Marquet P, Lachâtre G. Méthode de dosage spécifique de 24 antidépresseurs par couplage chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (CG/SM), *Acta Clinica Belgica* . 1999 ; Supplement -1 : 20-24.
- 18) Kirchherr H, Kuhn-Velten WN. Quantitative determination of forty-eight antidepressants and antipsychotics in human serum by HPLC tandem mass spectrometry: A multi-level, single-sample approach, *Journal of Chromatography B*. 2006 ; 843 : 100–113.
- 19) Zhaohui Z, Qian Z, Shaoying K, Bo C, Ming M, Shouzhao Y. Determination of Local Anesthetics in Human Plasma by Liquid-Liquid-Liquid Microextraction Coupled with High Performance Liquid Chromatography, *Chinese journal of analytical chemistry*. 2006 ; 34 (2) : 165-168.
- 20) Uyanýk A. Gas chromatography in anaesthesia I. A brief review of analytical methods and gas chromatographic detector and column systems, *Journal of Chromatography B*. 1997 ; 693 : 1–9.
- 21) Baniceru M, Croitoru O, Popescu SM. Determination of some local anesthetics in human serum by gas chromatography with solid-phase extraction, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2004 ; 35 : 593–598.
- 22) Yang NC, Hwang KL, Shen CH, Wang HF, Ho WM. Simultaneous determination of fluorinated inhalation anesthetics in blood by gas chromatography–mass spectrometry combined with a headspace autosampler, *Journal of Chromatography B*. 2001 ; 759 : 307–318.
- 23) Ha HR, Bigler L, Wendt B, Maggiorini M, Follath F. Identification and quantitation of novel metabolites of amiodarone in plasma of treated patients, *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2005 ; 24 : 271–279.
- 24) Lacassie E, Gaulier JM, Ragot S, Marquet P, Lachâtre G. Dosages sériques et urinaires d'hétérosides cardiotoniques par LC-ES-MS, dans un cas d'intoxication non mortel par la digitale pourpre, *Toxicorama*. 1999 ; XI (2) : 110-116.
- 25) Textes législatifs et réglementaires sur les stupéfiants
- a) Convention unique sur les stupéfiants de 1961 telle que modifiée par le Protocole de 1972 portant amendement de la Convention Unique sur les Stupéfiants de 1961 à laquelle la France adhère par la loi 68 -1124 du 17 12 1968 et le décret n°75-1076 du 4 11 1975.
http://www.incb.org/pdf/f/conv/convention_1961_fr.pdf
- b) Loi n°87-1157 du 31 décembre 1987 relative à la lutte contre le trafic de stupéfiants et modifiant certaines dispositions du code pénal
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000512241&fastPos=1&fastReqId=254025684&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte>
- c) Décret n°2000-356 du 21 avril 2000 modifiant Décret n°71-690 du 19 août 1971 fixant les conditions dans lesquelles les personnes ayant fait usage illicite de stupéfiants et inculpées d'infraction à l'art L628 du code de la santé publique peuvent être astreintes à subir une cure de désintoxication
http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=19710825&numTexte=&pageDebut=08427&pageFin=
 et <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000215055&fastPos=4&fastReqId=1725938140&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte>
- d) Loi n°90-1010 du 14 novembre 1990 portant adaptation de la législation française aux dispositions de l'article 5 de la convention des Nations Unies contre le trafic illicite de stupéfiants et de substances psychotropes, faite à Vienne le 20 décembre 1988
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000160354&fastPos=1&fastReqId=1236486307&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte>
- e) Arrêté du 22 février 1990 fixant la liste des substances classées comme stupéfiants. NOR : SPSM9000498A Version consolidée au 28 février 2009
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000533085&fastPos=7&fastReqId=799994379&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte>
- f) Directive 92/109/CEE du Conseil, du 14 décembre 1992, relative à la fabrication et à la mise sur le marché de certaines substances utilisées pour la fabrication illicite de stupéfiants et de substances psychotropes ; modifiée par les Directives Européenne n°93-46 du 22 juin 1993, puis n°2001-8 du 8 février 2001 puis n°2003-101 du 3 novembre 2003

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31992L0109:FR:HTML> et

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31993L0046:FR:HTML>

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32001L0008:FR:HTML>

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003L0101:FR:HTML>

g) Décret n°96-1060 du 5 décembre 1996 fixant la liste des précurseurs chimiques de stupéfiants ou de substances psychotropes soumis à contrôle. NOR: INDD9600698D Version consolidée au 17 février 2004

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000562992&dateTexte=>

h) Loi n°96-542 du 19 juin 1996 relative au contrôle de la fabrication et du commerce de certaines substances susceptibles d'être utilisées pour la fabrication illicite de stupéfiants ou de substances psychotropes (1) NOR: INDX9500023L Version consolidée au 20 décembre 2008

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000376606&fastPos=7&fastReqId=1268262479&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte>

26) Huestis M Henningfield J. Cone E. Blood cannabinoids II Models for the prediction of time of marijuana exposure from plasma concentrations of THC and THCCOOH., *J. Anal. Toxicol.* 1992, 16, 283-286.

27) Daldrup T. Cannabis Influence Factor. *Congrès de l'International Association of Forensic Sciences*, Tokyo, 1996].

28) Pirnay S, Tourneau J, Ricordel I. « Décès associés aux traitements de substitution. Etude rétrospective de 1600 expertises toxicologiques post-mortem ». *Le Courrier des addictions*. 2002 ; 4 : 156-158.

29) Kintz P. Traité de toxicologie médico-judiciaire. Deuxième édition. 2012 Éd. Elsevier Masson. 767 p ISBN : 978-2-294-71561-7.

30) Mura P, Kintz P. Drogues et accidentalité. Éd. EDP Sciences 2011. 350 p. ISBN 978-2-7598-0627-0

31) Concheiro M, de Castro A, Quintela O, Lopez-Rivadulla M, Cruz A. Determination of drugs of abuse and their metabolites in human plasma by liquid chromatography–mass spectrometry. An application to 156 road fatalities, *Journal of Chromatography B*. 2006 ; 832 : 81–89.

32) Molinaro R, Lampire O, Merlin C, Lhermitte M. Analyse simultanée des principaux stupéfiants et métabolites dans le sang total. *Toxicorama*. 1997 ; IX (3) : 183-189.

33) Moeller MR, Steinmeyer S, Kraemer T. Determination of drugs of abuse in blood, *Journal of Chromatography B*. 1998 ; 713 : 91–109.

34) Libong D, Bouchonnet S, Ricordel I. A selective and sensitive method for quantitation of lysergic acid diethylamide (LSD) in whole blood by gas chromatography-ion trap tandem mass spectrometry, *J. Anal. Toxicol.* 2003 ; 27 (1) : 24-29.

35) Kikura-Hanajiri R, Hayashi M, Saisho K, Goda Y. Simultaneous determination of nineteen hallucinogenic tryptamines/beta-cabcolines and phenethylamines using gas chromatography–mass spectrometry and liquid chromatography–electrospray ionisation-mass spectrometry, *Journal of Chromatography B*. 2005 ; 825 : 29–37.

36) Canezin J, Cailleux A, Turcant A, Le Bouil A, Harry P, Allain P. Determination of LSD and its metabolites in human biological fluids by high-performance liquid chromatography with electrospray tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography B*. 2001; 765 : 15–27.

37) Johansen SS, Jensen JL. Liquid chromatography–tandem mass spectrometry determination of LSD, ISO-LSD, and the main metabolite 2-oxo-3-hydroxy-LSD in forensic samples and application in a forensic case, *Journal of Chromatography B*. 2005 ; 825 : 21–28.

38) Mortier KA, Maudens KE, Lambert WE, Clauwaert KM, Van Boclaer JF, Deforce DL, Van Peteghem CH, De Leenheer AP. Simultaneous, quantitative determination of opiates, amphetamines, cocaine and benzoylecgonine in oral fluid by liquid chromatography quadrupole-time-of-flight mass spectrometry, *Journal of Chromatography B*. 2002 ; 779 : 321–330.

39) Malbosc R. Intoxications aiguë et chronique par le monoxyde de carbone : aspect analytique et interprétation des oxycarbonémies, *Revue Française des Laboratoires*. 2000 ; 323 : 19-25.

40) Géronimi J-L. Le monoxyde de carbone; Tech.& Doc./Lavoisier : Paris, 2000.

41) Katsumata Y, Aoki M, Sato K, Suzuki O, Oya M, Yada S. A simple spectrophotometry for determination of carboxyhemoglobin in blood, *Journal of Forensic Sciences*. 1982 ; 27 (4) : 928-934..

42) Brehmer C, Iten PX. Rapid determination of carboxyhemoglobin in blood by Oximeter, *Forensic Science International*. 2003 ; 133 : 179-181.

43) Lee C-W, Tam JCN, Kung L-K, Yim L-K. Validity of CO-oximetric determination of carboxyhaemoglobin in putrefying blood and body cavity fluid, *Forensic Science International*. 2003 ; 132 : 153-156.

44) Czogala J, Wardas W, Goniewicz ML. Determination of low carboxyhemoglobin blood levels by gas chromatography, *Analytica Chimica Acta*. 2006 ; 556 : 295-300.

- 45) Sundin AM, Larsson JE. Rapid and sensitive method for the analysis of carbon monoxide in blood using gas chromatography with flame ionisation detection, *Journal of Chromatography B*. 2001 ; 766 : 115-121.
- 46) Oritani S, Zhu B-L, Ishida K, Shimotouge K, Quan L, Fujita MQ, Maeda H. Automated determination of carboxyhemoglobin contents in autopsy materials using head-space gas chromatography/mass spectrometry, *Forensic Science International*. 2000 ; 113 : 375-379.
- 47) Yvert, J-P, Ricordel I, Schmit J-M. Critères de choix d'une méthode de détermination de l'oxycarbonémie au laboratoire de biochimie. *European Journal of Toxicology*. 1975 ; 8 : 81-86.
- 48) Ricordel I, Renaudeau C, Blanchet JC, Noto R, Pailler FM. Les agressifs chimiques. éd. France Sélection Paris. 1997 ; 267 p. ISBN 2-85266-076 8.
- 49) Baud F., Benaissa L. Cyanures et nitriles, In: Toxicologie Clinique, Chantal Bismuth. Médecine-Sciences, Flammarion, 5^e édition, 2000, pp. 907-911.
- 50) Lindsay A E, Greenbaumb AR, O'Hare D. Analytical techniques for cyanide in blood and published blood cyanide concentrations from healthy subjects and fire victims, *Analytica Chimica Acta*. 2004 ; 511 : 185-195.
- 51) Guevara I, Iwanejko J, Dembinska-Kiec A, Pankiewicz J, Wanat A, Anna P, Golabek I, Bartus S, Malczewska-Malec M, Szczudlik A. Determination of nitrite / nitrate in human biological material by the simple Griess reaction, *Analytica Chimica Acta*. 1998 ; 274 : 177-188.
- 52) Arrêté du 21 novembre 1955 CONDITIONS D'APPLICATION DE L'ART. 8 DU DECRET 55807 DU 18-06-1955 PORTANT RAP ET RELATIF AUX MESURES DE LUTTES CONTRE L'ALCOOLISME
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000255162&fastPos=1&fastReqId=2016683734&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>
- 53) Décret n°86-70 du 15 janvier 1986 portant modification du code des débits de boisson et des mesures contre l'alcoolisme.
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000522868&fastPos=1&fastReqId=802669921&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>
- 54) Wille SMR, Lambert WEE. Volatile substance abuse-post-mortem diagnosis, *Forensic Science International*. 2004 ; 142 : 135-156.
- 55) Zilly M, Langmann P, Lenker U, Satzinger V, Schirmer D, Klinker H. Highly sensitive gas chromatographic determination of ethanol in human urine samples, *Journal of Chromatography B*. 2003 ; 798 : 179-186.
- 56) Azparren JE, Fernandez-Rodriguez A, Vallejo G. Diagnosing death by drowning in fresh water using blood strontium as an indicator, *Forensic Science International*. 2003 ; 137 : 55-59.
- 57) Azparren JE, Ortega A, Bueno H, Andreu M. Blood strontium concentration related to the length of the agonal period in seawater drowning cases, *Forensic Science International*. 2000 ; 108 : 51-60.
- 58) Azparren JE, Vallejo G, Reyes E, Herranz A, Sancho M. Study of the diagnostic value of strontium, chloride, haemoglobin and diatoms in immersion cases, *Forensic Science International*. 1998 ; 91 : 123-132.
- 59) Burguera M, Burguera J-L, Rondon C, di Bernardo ML, Gallignani M, Nieto E, Salinas J. Appraisal of different electrothermal atomic absorption spectrometric methods for the determination of strontium in biological samples, *Spectrochimica Acta Part B*. 1999 ; 54 : 805-818.
- 60) Viitak A, Volynsky AB. Simple procedure for the determination of Cd, Pb, As and Se in biological samples by electrothermal atomic absorption spectrometry using colloidal Pd modifier, *Talanta*. 2006 ; 70 : 890-895.
- 61) Magnin J-L, Decosterd LA, Centeno C, Burnier M, Diezi J, Biollaz J. Determination of trace lithium in biological fluids using graphite furnace atomic absorption spectrophotometry: Variability of urine matrices circumvented by cation exchange solid phase extraction, *Pharmaceutics Acta Helveticae*. 1996 ; 71 : 237-246.
- 62) Goullé J-P, Mahieu L, Castermant J, Neveu N, Bonneau L, Lainé G, Bouige D, Lacroix C. Metal and metalloid multi-elementary ICP-MS validation in whole blood, plasma, urine and hair. Reference values, *Forensic Science International*. 2005 ; 153 : 39-44.
- 63) Goullé J-P, Mahieu L, Maignant V, Bouige D, Sausseureau E, Lacroix C. Valeurs usuelles des métaux et métalloïdes dans le sang total et les urines par ICP-MS chez cinquante-quatre sujets décédés. *Ann Toxicol Anal*. 2007 ; 19 : 43-51.
- 64) Heitland P, Köster HD. Biomonitoring of 37 trace elements in blood samples from inhabitants of northern Germany by ICP-MS, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2006 ; 20 : 253-262.
- 65) Chevallier P, Ricordel I, Meyer G. Trace element determination in hair by synchrotron x-ray fluorescence analysis : application to the hair of Napoleon I, *X-Ray Spectrometry*. 2006 ; 35 (2) : 125- 130.
- 66) Toribara TY, Jackson DA, French WR, Thompson AC, Jaklevic JM. Nondestructive X-ray fluorescence spectrometry for determination of trace elements along a single strand of hair, *Anal. Chem*. 1982 ; 54 (11) : 1844-1849.
- 67) Cho SY, Jang SG, Chung YS. Human hair identification by instrumental neutron activation analysis, *J. Radioanalytical and Nuclear Chem*. 1998 ; 229 : 143-147.

- 68) Kerrigan S, Brooks DE. Immunochemical extraction and detection of LSD in whole blood, *Journal of Immunological Methods*. 1999 ; 224 : 11–18.
- 69) Rohrich J, Zorntlein S, Becker J. Analysis of LSD in human body fluids and hair samples applying ImmunElute columns, *Forensic Science International*. 2000 ; 107 : 181–190.
- 70) fast-GC (O047 ; O80 ; P034 ; P145). 47^{ème} congrès international du TIAFT à Genève ATA. 2009, 21, sup n°1 : S 1-1 Abstracts *Ann Toxicol Anal*. 2009; 21(S1) Numéro consacré au congrès du TAFT de Genève 2009.
- 71) Verstrate A. Applications de la FAST-GC en toxicologie analytique. *Annales de Toxicologie Analytique*. 2003 ; XV (3) : 165-166.
- 72) Ultra fast GC <http://translate.google.fr/translate?hl=fr&sl=en&u=http://www.brechbuehler.ch/Ultra-Fast-GC.187.0.html&ei=otNZS4ugBoyz4QaWu7iBBQ&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=4&ved=0CBoQ7gEwAw&prev=/search%3Fq%3DUltra%2Bfast%2BGC%26hl%3Dfr%26client%3Dfirefox-a%26rls%3Dorg.mozilla:fr:official%26hs%3DL0M>
- 73) YU K, Balogh M. Fast LC. A protocol for high-throughput drug mixture quantitation : Fast LC-MS or flow injection analysis-MS ? *LC GC North America*. 2001 ; 19 (1) : 60-72.
- 74) Tiller P, Romanyshyn LA, Neue UD. Fast LC/MS in the analysis of small molécules. *Analytical and bioanalytical chemistry*. 2003 ; 377 (5) : 788-802.
- 75) l'UPLC (O24 ; O61 ; P024 ; P029 ; P036 ; P037 ; P063 ; P096 ; P104 ; P117 ; P122 ; P123 ; P140 ; P149 ; P152 ; P160). 47^{ème} congrès international du TIAFT à Genève ATA 2009, 21, sup n°1 : S 1-1 Abstracts.
- 76) Labat L, Deveaux M, Dubost J-P. Applications de l'électrophorèse capillaire en toxicologie clinique et médico-légale. *Congrès Annuel de la Société Française de Toxicologie Analytique N°8, Limoges, France (07/06/2000)*. ATA 2000 ; 12 (3) : 179-195.
- 77) Weich A, Carvalho de Oliveira D, de Melo J, Goebel K, Rolim CM. Validation of UV Spectrophotometric and HPLC Methods for Quantitative Determination of Atenolol in Pharmaceutical Preparations *Lat. Am. J. Pharm.* 2007 ; 26 (5) : 765-70.
- 78) Delamoye M, Duverneuil C, Paraire F, de Mazancourt P, Alvarez JC. Simultaneous determination of thirteen β -blockers and one metabolite by gradient high-performance liquid chromatography with photodiode-array UV détection. *Forensic Sci. Int.* 2004 ; 141 : 23-31.
- 79) Marquet P. Théorie et instrumentation des techniques de LC-MS et LC-MS/MS applicables à la toxicologie. *LC-MS and LC-MS/MS theory and instruments applicable to toxicology. Ann Toxicol Anal* 2005 ; 17 (1) : 5-12.
- 80) Van Bocxlaer JF, Clauwaert KM, Lambert WE, Deforce DL, Van den Eeckhout EG, de Leenheer AP. Liquid Chromatography - Mass Spectrometry In Forensic Toxicology, *Mass Spectrometry Reviews*. 2000 ; 19 : 165-214.
- 81) Spectromètre Maldi Tof. Spectropole Université de Marseille. Les Techniques. <http://www.spectropole.u-3mrs.fr/masse5.htm>
- 82) Goullé J-P, Sausseureau E, Guerbet M, Lacroix C. Immunochimie : quelle place en 2008 ? *Ann Toxicol Anal*. 2009 ; 21 (1) : 49-53.
- 83) Verstraete A., Deveaux M. Historique du dépistage des conduites addictives en milieu professionnel en Europe et aux Etats-Unis. *Ann Toxicol Anal*. 2002 ; 14 (1) : 3-9.
- 84) Verstraete A, Labat L. Utilisation des tests rapides de détection de drogues dans la salive au bord de la route et en santé au travail. *Ann Toxicol Anal*. 2009 ; 21(1) : 3-8.
- 85) Samyn N, Areschka V, Verstraete A. Évaluation de tests de dépistage des drogues sur le terrain. *Ann Toxicol Anal*. 2000; 12 (2) : 105-115.
- 86) Pujol ML, Tritsch P-J, Cirimele V, Kintz P. Dépistage de quatre classes de stupéfiants dans les cheveux par technique ELISA à l'aide du test One-StepTM et confirmation par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. *Ann Toxicol Anal*. 2006, 18 : 291-296.

Chapitre 6. Expertise toxicologique médico-légale, domaines d'application

I. Ricordel,
N. Milan, P. Sibille, B. Devos

1. Introduction

L'empoisonneur a d'abord été considéré, même par de grands savants, comme seulement une empoisonneuse. Pour le Docteur Robinet de Cléry en 1894, les empoisonnements sont les crimes des hypocrites, des lâches et des femmes (70%) dont les mobiles sont l'animosité dans 45% des cas, l'intolérance pour leurs enfants dont elles se débarrassent (24%), l'adultère (10%), la vengeance (9%), la cupidité (9%), les peines de cœur (5%). Dans sa thèse de médecine en 1906, René Charpentier écrit qu'ils sont « le triste apanage de la femme qui les accomplit souvent et les inspire presque toujours ... l'étude historique et psychologique ... montre la permanence à travers les âges d'un type « criminello-pathologique » spécial et essentiellement féminin ». Cette notion perdure dans les esprits jusqu'à nos jours.

Pourtant dans sa thèse de pharmacie, en 1952, le docteur Robert Pio attribue les empoisonnements à parité aux hommes et aux femmes et en 1975, Pinatel pour qui l'empoisonnement est la forme par excellence de l'homicide prémédité (avec l'infanticide et l'avortement) convient qu'il faut réviser son caractère féminin, les empoisonneuses ne constituant dans une statistique sur les détenus de la prison de Rennes, en 1963, que 8% des condamnés. Enfin les travaux de Hartmut Mohr en 1978 et de R. Cario en 1980, tordent le cou à cette croyance. Le premier conclut qu'il n'existe pas de type déterminé de criminels et encore moins d'empoisonneurs, le second dénie toute relation entre condition psychologique et physiologique de la femme et l'aptitude au crime, notamment d'empoisonnement.

Aujourd'hui, le profil de l'empoisonneur est multiforme. Aux motivations millénaires, qui sont toujours présentes et qui donnent lieu aux meurtres et aux suicides, il convient d'ajouter celles des pourvoyeurs et utilisateurs de drogues et de médicaments d'usage illicite et de produits dopants. La soumission dite « chimique ou thérapeutique » par des médicaments susceptibles de provoquer des amnésies transitoires est une forme de criminalité en augmentation sensible et encore méconnue.

L'alcoolisme et le tabagisme rentrent également dans le champ des empoisonnements volontaires et induits à potentialité létale. La diversité des causes et des victimes conduit le Code de procédure pénale à qualifier d'empoisonnement : « Tout attentat à la vie d'une personne, par l'effet de substances qui peuvent donner la mort plus ou moins promptement, de quelque manière que ces substances aient été employées ou administrées, et quelles qu'en aient été les suites ». Il s'ensuit que les domaines d'application de l'expertise toxicologique médico-légale sont multiples.

2. Sécurité routière

L'expert toxicologue intervient dans le cadre du contrôle routier en cas de suspicion de conduite d'un véhicule sous l'emprise de l'alcool ou des stupéfiants et de manière systématique en cas d'accidents matériels, corporels ou mortels. En 2005, l'étude SAM (stupéfiants et accidents mortels) estime à environ 280 par an le nombre de personnes tuées dans des accidents liés à la consommation de stupéfiants (essentiellement cannabis). La moitié des victimes ont moins de 25 ans et leur proportion croît le week-end. Selon l'Institut

national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS¹), 35 % de ces conducteurs prenant le volant les soirs de fin de semaine sont sous l'emprise de drogues ou de l'alcool. Comme cela est montré dans le chapitre précédent, les psychotropes, dont les stupéfiants et l'alcool, provoquent différents effets secondaires (euphorie, somnolence, mauvaise estimation des distances, troubles visuels, etc.) qui altèrent la vigilance et l'adaptation comportementale du conducteur face aux manœuvres à effectuer et favorisent la survenue d'un accident.

2.1. Des chiffres

2.1.1. Alcool

(Voir aussi le paragraphe 3.6.)

Outre les effets délétères d'une consommation chronique, la surconsommation aiguë d'alcool l'implique fréquemment dans les accidents de la route, de la vie professionnelle ou privée et dans les suicides. L'alcoolémie augmente de manière exponentielle le risque d'accidents dès la teneur de 0.50 g/L, il est multiplié par 1.9 entre 0.50 et 0.79 g/L, par 10 entre 0.80 et 1.19 g/L, par 35 entre 1.20 et 1.99 g/L et par 75 au-delà de 2 g/L. C'est pourquoi la législation interdit la conduite automobile à partir de 0.5 g/L d'alcool sanguin. En 2008 les statistiques de l'ONISR, (Observatoire national interministériel de la sécurité routière : juillet 2009) indiquent que 6 256 accidents corporels sont liés à une alcoolémie supérieure à 0,5g/L, soit 10,6% de ce type d'accidents dont 878 ont provoqué 972 morts, 8324 blessés dont 50% hospitalisés et représentent 27,9% de la totalité des accidents mortels. Ceci peut se traduire par : 3,5% des conducteurs, sous l'emprise de l'alcool, sont responsables de 27,9% des morts sur la route. 34% des personnes impliquées dans un accident mortel étaient sous l'emprise de l'alcool et 42% dans la tranche d'âge de 18 à 24 ans. Il convient de noter une tendance à la baisse de ces chiffres depuis 2002 où l'on dénombrait 1299 morts pour 1 157 accidents mortels.

Il est possible de rapprocher ces chiffres du nombre de dépistages d'alcool réalisés par les forces de l'ordre sur les routes chaque année (environ 10 millions) conduisant en moyenne à plus de 100 000 condamnations, soit environ 25 % des condamnations en France.

2.1.2. Stupéfiants

(Voir aussi paragraphe 2.3 et chapitre 7)

L'influence de la consommation de stupéfiants sur la conduite automobile et le comportement au volant a fait l'objet de nombreuses études cliniques parallèlement à des tests de dépistages et au dosage des toxiques dans les milieux biologiques (sang, salive, sueur, urine, cheveux). La législation s'est fondée sur ceux-ci mais également sur des tests sur simulateur de conduite et sur des tests de conduite réelle permettant d'évaluer les temps de réaction, la vitesse, la vigilance d'un conducteur selon qu'il a ou non consommé une drogue.

Les effets délétères des drogues sur le comportement du conducteur et sa capacité à conduire sont variés. Les opiacés provoquent une perte de la vigilance allant jusqu'à l'endormissement. Inversement, les amphétamines et les dérivés cocaïniques peuvent induire des prises de risques liés à une désinhibition. Pour le cannabis, il existe de grandes variations selon les individus et la fréquence de consommation. Il faut considérer le mode de consommation (collective et occasionnelle ou individuelle et quotidienne) et la richesse de la drogue en THC plus forte aujourd'hui (10 à 25%). De faibles doses (1 à 2 joints) inciteraient les conducteurs à la prudence au volant. De fortes doses entraînent des troubles de la perception temporo-spatiale (réduction du champ visuel), une perte de la sensation de peur ou de culpabilité face à un danger

¹ L'INRET est devenu IFSTTAR (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux.) par sa fusion au 1^{er} janvier 2011 avec le LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) est un établissement public à caractère scientifique et technologique, placé sous la tutelle conjointe du ministère de l'écologie et de enseignement supérieur.

et, dans certains cas, des comportements psychiatriques aigus (violence et impulsivité démesurées) en réaction à des situations de stress ou de douleur intense.

2.2. Législation et sanctions

2.2.1. Alcool [3]

L'alcoolémie autorisée au conducteur est restreinte depuis la loi du 15 avril 1954, « lorsqu'il semble que le délit ou l'accident a été commis ou causé sous l'empire d'un état d'ivresse ». Cette même loi a institué les trois fiches à remplir en cinq exemplaires pour chaque prélèvement sanguin :

- une fiche A (1) d'examen de comportement remplie par l'officier de police judiciaire ;
- une fiche B et C (2). La partie B supérieure concerne l'examen clinique remplie par un médecin requis. S'y trouvent des renseignements sur l'heure estimée du dernier repas et de consommation d'alcool ainsi que l'estimation de la consommation habituelle déclarée ;
- la partie C est réservée à l'expert (côté gauche) et au contre-expert (côté droit) pour les résultats d'analyse du sang.

Figure 1 : Les fiches A et BC concernant la vérification de l'alcoolémie.

Quatre exemplaires de ces deux fiches sont adressés à l'expert chargé de l'analyse, le cinquième volet étant destiné au contre-expert éventuel. L'autorité requérante conserve une copie de la fiche A.

L'alcoolémie peut être connue par dosage direct dans le sang, mais aussi par son évaluation dans l'air expiré. Il est interdit de conduire avec une teneur d'alcool pur dans le sang égale ou supérieure à 0,5 g par litre (au lieu de 0,7 g avant le 15 septembre 1995) ou bien à 0.25 mg/L d'air expiré. Le [Décret n°2004-1138 du 25 octobre 2004](#) limite à 0,2 g/L (0,10 g/L d'air expiré) l'alcoolémie des conducteurs de transport en commun.

La conduite d'un véhicule avec un taux d'alcoolémie compris entre 0,5 et 0,8 g pour mille (ou 0.25 et 0.40 mg/L d'air expiré), constitue une contravention de 4e classe, de la compétence du tribunal de police : le

conducteur risque une amende forfaitaire de 135 euros, le retrait de six points du permis de conduire, l'immobilisation du véhicule et la suspension du permis pour une durée maximale de trois ans avec possibilité d'aménagement.

Pour une alcoolémie supérieure ou égale à 0,8 g pour mille, le conducteur commet alors un délit qui relève de la compétence du tribunal correctionnel ; la sanction peut aller jusqu'à 2 ans de prison, une amende pouvant atteindre 4 500 euros, la confiscation du véhicule, la suspension du permis et la perte de six points (décret du 29 août 1995 ; loi du 8 décembre 1993). Des peines complémentaires peuvent être appliquées, telles que le travail d'intérêt général, les jours-amendes, l'interdiction de conduire certains véhicules ou l'obligation de suivre un stage de sensibilisation à la sécurité routière. L'annulation du permis est prononcée par le tribunal correctionnel dans les cas d'infractions très graves au code de la route (délit de fuite, homicide, conduite en état d'ivresse). Elle est d'une durée maximum de trois ans, mais peut être portée à dix ans en cas de récidive de conduite en état d'ivresse, notamment ayant entraîné la mort (ensemble des textes législatifs sur l'alcoolémie et [4] fiche vos droits).

2.2.2. Stupéfiants [5]

Deux ans fermes d'emprisonnement et 4500 euros : telle est la peine maximale encourue par un conducteur qui provoque un accident sous l'emprise de cannabis, selon le texte de loi définitivement adoptée par le Parlement le 31 mars 2003. Ces peines sont aggravées si ces comportements sont associés à une alcoolémie excessive (3 ans d'emprisonnement et 9000 euros d'amende).

La loi contre la violence routière a élargi également les sanctions possibles en cas d'usage de stupéfiants en instaurant, comme pour l'alcool, la rétention du permis de conduire.

La loi du 18 juin 1999 et son décret d'application (du 27 août 2001) ont instauré un dépistage systématique de stupéfiants sur les conducteurs impliqués dans un accident de la route aux conséquences immédiatement mortelles. Les conducteurs impliqués sont ainsi soumis, en première intention, à un test de dépistage urinaire et salivaire. Si le dépistage est positif ou impossible, ou lorsque le conducteur refuse de s'y soumettre, un prélèvement sanguin est réalisé afin de rechercher les quatre grandes familles de stupéfiants (cannabis, amphétamines, opiacés et cocaïne).

Figure 2 displays two forms, 'FICHE D' and 'FICHE F', used for the verification of drugs. The left form, 'FICHE D', is titled 'PROCÉDURE' and 'FICHE "D" * VÉRIFICATIONS CONCERNANT LES STUPÉFIANTS RÉSULTATS DES ÉPREUVES DE DÉPISTAGE'. It includes fields for the officer's name, the driver's name and address, and the date and location of the test. It also contains checkboxes for 'Dépistage urinaire' (urinary) and 'Dépistage salivaire' (salivary) results, and a section for 'PRÉLÈVEMENT SANGUIN EN PRÉSENCE DE L'AUTORITÉ REQUÉRANTE' (blood sample in the presence of the requesting authority). The right form, 'FICHE F', is titled 'PERSONNE CONCERNÉE' and 'FICHE "F" * VÉRIFICATIONS CONCERNANT LES STUPÉFIANTS RÉSULTATS DES ANALYSES DE SANG'. It includes fields for the person's name and date of birth, and a section for 'ANALYSE DE SANG' (blood analysis) with checkboxes for 'RECHERCHE ET DOSAGE DES STUPÉFIANTS' (search and dosage of drugs) and 'RECHERCHE DES MÉDICAMENTS PSYCHOACTIFS' (search for psychoactive drugs). Both forms include checkboxes for 'Analyse' (analysis) results (positive/negative) and 'Concentration' (concentration) for various substances like tetrahydrocannabinol, amphetamines, opiates, and cocaine.

Figure 2 : Les fiches D et F concernant la vérification des stupéfiants (dépistage et analyse).

Conjointement aux fiches A, B et C remplies pour la recherche d'alcoolémie, il existe des fiches correspondant à la recherche de stupéfiants (fiches D, E et F). Le plus souvent, c'est le même médecin qui intervient dans les actes médicaux destinés à la recherche d'alcool et de stupéfiants : la date, l'heure et le lieu de chaque examen effectué ainsi que les résultats sont reportés sur les fiches prévues à cet effet qui sont jointes aux procédures.

- La fiche D est dévolue au dépistage urinaire, salivaire et à son résultat. Elle est remplie par un médecin requis tout comme... (figure 2)
- La fiche E destinée aux résultats de l'examen clinique et médical. Ce dernier comporte des indications sur l'habitude de consommation estimée ou indiquée par la personne concernée ainsi que sur ses traitements en cours (Figure 3).
- La fiche F est réservée à l'expert toxicologue (côté gauche) et au contre-expert (côté droit) pour le prélèvement sanguin et son résultat figure 2 (ensemble des textes législatifs concernant les stupéfiants [5 ; 10]).

Les dépistages sont obligatoires en cas d'accident immédiatement mortel ou en cas d'accident corporel lorsque le conducteur est soupçonné d'avoir consommé des stupéfiants. Ils sont également autorisés pour un conducteur impliqué dans un accident quelconque de la circulation, ou qu'il est l'auteur de certaines infractions au Code de la route, ou encore lorsqu'il existe à son encontre «une ou plusieurs raisons plausibles de soupçonner qu'il a fait usage de stupéfiants» ([article L235-2 du Code de la route](#)).

Figure 3 Fiche E : Vérification concernant les stupéfiants (Résultats de l'examen clinique médical)

2.3. Les prélèvements

Dans le cadre du contrôle de la conduite d'un véhicule, l'analyse toxicologique d'un échantillon sanguin reste le milieu de référence renseignant sur l'exposition éventuelle du conducteur à un xénobiotique. Seule une analyse sanguine réalisée par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse est actuellement prise en compte par la loi ([décret 2001-751](#)).

2.3.1. Alcool

La recherche et le dosage de l'alcool se pratiquent dans le sang, dans l'air expiré et plus rarement dans l'urine.

Le prélèvement sanguin est réalisé par ponction veineuse, le plus souvent sur un tube en verre contenant du fluorure de sodium fourni par les forces de l'ordre pour la détermination de l'alcoolémie. L'utilisation d'alcool et autres produits volatils et réducteurs comme désinfectant est proscrite.

Le dosage dans l'air expiré présente l'avantage d'être réalisable de façon non invasive, sur un plus grand nombre de sujets et sans nécessiter la présence d'un médecin. Depuis 1978, la loi autorise le dépistage de l'imprégnation alcoolique par analyse de l'air expiré, lors de contrôles systématiques en l'absence d'accident ou d'infraction.

2.3.2. Stupéfiants

Le prélèvement sanguin est réalisé sur un tube contenant du fluorure associé ou non à un autre anticoagulant comme l'héparine ou l'éthylène diamine tétra-acétate (EDTA).

La place de l'urine dans les analyses concernant la sécurité routière est relativement limitée par l'étroitesse de la fenêtre de détection des molécules inchangées (tableau 1). Les métabolites y sont cependant détectables pendant quelques heures à plusieurs jours après la dernière prise.

La caractérisation de stupéfiants ou de leurs métabolites dans les urines indique seulement que le sujet a été exposé à des substances interdites dans un passé relativement récent mais ne présage en rien d'un état sous influence au moment des faits, ni de ses capacités à conduire.

L'urine et la salive servent d'éléments de premier dépistage qui se pratique par techniques immunochimiques de type (EMIT) peu spécifiques. Pour cette raison, un résultat positif n'est qu'une présomption jusqu'à ce qu'il soit confirmé par une technique séparative d'identification comme la GC-MS (voir chapitre précédent paragraphe 3).

Si le test est positif, les forces de l'ordre retirent le permis pour une durée de soixante-douze heures maximum. Une prise de sang est alors effectuée en vue d'une analyse qui déterminera avec certitude la présence du stupéfiant et la réalité d'une infraction. Dans le cas de dépistage urinaire positif et de dépistage sanguin négatif, les poursuites ne peuvent avoir lieu au titre de la conduite après usage de stupéfiants mais elles restent possibles pour usage simple de stupéfiants. La peine encourue est alors d'un an de prison et de 3750 euros d'amende.

Comme pour l'alcoolémie, la méthode de référence utilisée dans la détermination sanguine et urinaire de stupéfiants est la chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse simple ou double en tandem, de plus en plus supplantée par la chromatographie en phase liquide également couplée à la spectrométrie de masse (voir chapitre précédent paragraphe 3).

La fenêtre de détection d'un stupéfiant donné dépend du milieu biologique dans lequel il est recherché et de la possibilité de détecter un ou plusieurs métabolites (tableau 1)

Pour le cannabis

(Voir paragraphe 2.3.1.)

Le THC, principe psychotrope de la drogue, est présent dans le sang environ quatre à huit heures après l'arrêt de consommation. Sa présence signifie que le sujet était sous l'influence du stupéfiant au moment du prélèvement et au maximum quelques heures avant celui-ci. Ceci est vrai quelle que soit la teneur mesurée de THC au-dessus du seuil de sensibilité des méthodes (en général 0,5 ng/mL).

L'OH-THC et le THC-COOH, produits de dégradation du THC, sont présents dans le sang plus durablement que le THC. En l'absence de THC, la présence de THC-COOH témoigne de l'usage du cannabis. Bien que ce produit soit inactif, sa seule présence n'exclut pas que la personne soit sous l'influence du stupéfiant mais ne peut le prouver. Toutefois, la présomption d'influence du stupéfiant croît au-dessus de 20 ng/mL de THC-COOH. Un dépistage positif de THC-COOH dans l'urine n'est pas toujours corrélé à un résultat positif dans le sang et inversement. Seul le résultat dans le sang doit être pris en considération. Il peut exister des dépistages faussement positifs dans l'urine. Par ailleurs, la présence de THC-COOH peut s'observer dans l'urine plusieurs jours, voire plusieurs semaines après l'arrêt d'usage du cannabis.

Pour les amphétamines

(Voir aussi chapitre précédent paragraphe 3.4.4.)

Stupéfiant	Temps de demi-vie (h)	Durée de détection moyenne	
		Dans le sang	Dans l'urine
THC	3.8	2-8 h	
THC-COOH	24-72	24 h	1-70 j
Cocaïne	0.7-1.5	1-12 h	5 h
Benzoylcgonine	5-7	12-24 h	2-3 j
Héroïne	0.05-0.15	5 min	
6-monoacétylmorphine	0.6	1-2 h	2-8 h
Morphine	1.9-3.1	6-12 h	1-2 j
Amphétamine	7 à 34	12-24 h	1-3 j

Tableau 1: Temps de demi-vie des stupéfiants usuels et durée de détection approximative dans le sang et les urines.

Quelle que soit la quantité mesurée, la présence dans le sang d'une des amphétamines signalées au paragraphe 2.4.4. dont principalement l'ecstasy (MDMA), signe l'influence de la drogue. Celle-ci croît avec la teneur (de quelques nanogrammes à quelques microgrammes, au-delà le pronostic vital est compromis).

Pour les opiacés

(Voir aussi chapitre précédent paragraphe 3.4.2.)

L'héroïne n'est jamais détectée dans le sang car elle disparaît très vite après administration (2 à 5 minutes). Le produit de dégradation spécifique de l'héroïne, la 6 mono-acétyl-morphine (6-MAM) suffit, par sa présence, pour identifier l'usage récent d'héroïne quelle que soit la teneur observée qui varie généralement entre 0 et 100 ng/mL. La 6-MAM n'est détectable dans le sang que pendant au maximum quelques heures. Le produit de dégradation le plus important et présent le plus longtemps est la morphine. Sur la fiche F seuls ces deux composés sont indiqués en face de l'item «opiacé» lorsqu'ils sont présents ensemble dans le sang.

La morphine, analgésique puissant souvent utilisé lors des premiers soins d'urgence, doit être indiquée en observation lorsque l'information de son utilisation thérapeutique est connue. Lorsque la morphine est détectée seule, il convient de toujours penser à cette origine ainsi qu'à celle d'un traitement chronique contre la douleur notamment dans les maladies cancéreuses. La morphine est aussi le carrefour de dégradation de plusieurs produits (codéine, pholcodine, codéthyline, dihydrocodéine etc.). Ces différents produits (antitussifs et antidouleur) ne sont indiqués en observation que lorsqu'ils sont présents en forte quantité signant un abus d'emploi. Par ailleurs, la présence de faibles quantités de morphine et de codéine urinaires n'est pas nécessairement suspecte car n'est pas incompatible avec la seule consommation de codéine en fin d'épuration de celle-ci.

En cas d'usage d'héroïne ou de morphine, les teneurs de morphine détectables varient entre 50 et 2500 ng/mL alors que, lors d'usage thérapeutique de morphine, les teneurs habituelles sont de 10 à 100 ng/mL.

Pour la cocaïne

(Voir aussi chapitre précédent paragraphe 3.4.3.)

La cocaïne (COC), drogue psychostimulante puissante, se transforme dans l'organisme principalement en benzoylecgonine (BZE) et en plus faible proportion en ecgonine-méthyl-ester (EME) dont les teneurs sont reportées en observation sur la fiche F. Seule la teneur en COC est indiquée en face de l'item «cocaïne». La cocaïne n'est présente dans le sang d'un usager que pendant une durée très courte (de quelques minutes à quelques heures. Après une heure sa teneur est inférieure à celle de la BZE).

Les teneurs observées de COC et de BZE vont de quelques ng/mL à 2000 ng/mL mais quelle que soit la teneur mesurée de COC et BZE, l'effet psychotrope est présent.

2.4. Prélèvements alternatifs

2.4.1. Le prélèvement salivaire

Dans le contexte d'un dépistage de masse, il paraît difficilement réalisable d'imposer un prélèvement aussi invasif et mal vécu que peut l'être le prélèvement sanguin voire urinaire. Par ailleurs, la procédure analytique encore longue, est incompatible avec la nécessité d'un résultat rapide en cas d'immobilisation du véhicule. C'est pourquoi le prélèvement salivaire, dont l'analyse immunologique peut être réalisée rapidement, est d'autant plus justifié qu'il ne nécessite pas la présence d'un médecin et qu'il peut être réalisé par un officier de police ou de gendarmerie (voir à ce sujet la note 15, paragraphe 3.4.6. du chapitre 5).

La plupart des stupéfiants entrent dans la salive par une simple diffusion passive selon leurs propriétés physicochimiques (pKa, liposolubilité, poids moléculaire et configuration spatiale), leur liaison aux protéines plasmatiques et les pH plasmatique et salivaire.

En pratique, un échantillon de salive est collecté par expectoration dans un récipient ou par frottement de la cavité buccale avec un bâtonnet préleveur. L'analyse est basée sur une détection immunochromatographique qui permet d'obtenir les résultats dans de très courts délais grâce au simple changement de couleur du support comportant quatre immunoréactifs différents (cannabis, cocaïne, opiacés et amphétamines). Le ministère de l'Intérieur français a retenu en 2008 le test ABMC/Mavand Rapidstat® présentant un bâtonnet collecteur de salive qui fournit un résultat en 6 à 8 minutes.

2.4.2. Le prélèvement capillaire

(Voir aussi paragraphe 5. « Soumission chimique »)

Le recours de l'analyse des cheveux, lorsque le délai écoulé entre les faits contrevenants ou délictuels présumés et l'analyse excède 12 heures, peut être une alternative [6].

Une exposition à une drogue quelconque entraîne une accumulation de celle-ci dans la trame protéique des cheveux, conjointement à l'arrivée des substances étrangères par le sébum et la sueur. La vitesse de pousse des cheveux, estimée à 1 cm par mois, permet de situer la zone correspondant à l'exposition en fonction du délai séparant la date des faits de celle du prélèvement.

En cas d'absence de cheveux, le recours aux poils axillaires ou pubiens est possible. L'analyse des cheveux n'est pas une méthode d'investigation concurrente mais complémentaire de celle du sang ou de l'urine car seul le sang prélevé à peu de distance des faits est susceptible de démontrer précisément une imprégnation lors de leur déroulement.

3. Contrôle des conduites addictives

3.1. Distinguer un dealer d'un consommateur pour adapter la peine de prison

Infraction à la législation des stupéfiants (ILS) : La législation française réprime de la production au simple usage, en passant par la revente (dealers), toutes les infractions liées aux stupéfiants. Contrairement à certains pays européens (Belgique, Espagne, Irlande, Italie, Pays-Bas), la France n'établit pas, dans sa législation, de différence entre drogues «douces» (cannabis) et drogues dures rapidement responsables d'une dépendance psychique et physique (héroïne, LSD, ...).

Le délit d'usage illicite de stupéfiants, défini dans l'article L. 628 (ou L 3421 ; 3422 ; 3424) du Code de Santé Publique Livre IV titre II, est puni d'un an d'emprisonnement et d'une amende de 3750 euros. Toutefois, le consommateur est considéré en même temps comme un malade qu'il convient de traiter. Comme les procédures pénales et les peines principales sont plus sévères en cas de trafics de drogue, il est tout à fait essentiel de différencier le consommateur du trafiquant (qui risque la prison ferme). Seuls les cheveux permettent une telle discrimination.

Ainsi, le seul fait que du haschich soit caché dans la cellule d'un détenu en caractérise la détention par celui-ci mais non sa consommation. La consommation du cannabis est le délit le plus fréquemment rencontré or, les dérivés du cannabis sont les plus difficiles à analyser vu les faibles concentrations rencontrées et la difficulté à les extraire de la matrice kératinisée du cheveu. Le risque de contamination externe imputable aux fumées est éliminé par l'identification du métabolite carboxylé, l'acide 11-nor-delta 9-tétrahydrocannabinol-9-carboxylique (THC-COOH) qui est la signature de l'absorption. Ce métabolite ne représente hélas dans le cheveu qu'environ 1 % du THC. Les cheveux étant moins l'objet de contaminations extérieures par les autres drogues que par le cannabis fumé, la détection de celles-ci ou de leurs métabolites dans la matrice capillaire signe une consommation.

3.2. Restitution du permis de conduire (7)

L'évaluation de la conduite d'un véhicule sous influence de stupéfiants par examens urinaires et sanguins est évoquée au paragraphe 2.3. L'arrêté du 5 septembre 2001 fixant les modalités du dépistage des stupéfiants et des analyses et examens prévus par le (décret 2001-751) indique que la recherche et le dosage des produits stupéfiants... s'effectuent en utilisant la technique « chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse ». Cependant, la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem prend peu à peu le relais sur cette technique. Certains organismes de médecine du travail, en particulier dans le domaine des transports routiers, peuvent exiger de leurs salariés une totale abstinence aux stupéfiants et organiser des contrôles réguliers.

Selon le décret n° 2003-293 du 31 mars 2003 relatif à la sécurité routière et modifiant le code de procédure pénale et le code de la route, le préfet soumet à des analyses ou à des examens médicaux, cliniques et biologiques notamment salivaires et capillaires tout conducteur ou accompagnateur d'un élève conducteur auquel est imputable l'une des infractions prévues par les articles L. 234-1 (conduite en état d'ivresse), L. 234-8 (conducteur refusant de se soumettre à un contrôle), L. 235-1 (conduite sous l'emprise de stupéfiants) et L. 235-3 (cas de récidives aux infractions précédentes), et tout conducteur qui a fait l'objet d'une mesure portant restriction ou suspension du droit de conduire d'une durée supérieure à un mois pour l'une des infractions prévues au Code de la route, autres que celles visées ci-dessus.

Ainsi, le conducteur privé de son permis de conduire pour conduite sous l'influence de stupéfiants ne peut recouvrer ses droits qu'après passage devant une commission chargée de vérifier son abstinence en produits illicites. Cette commission a également pour rôle d'évaluer la menace d'une éventuelle récidive au cours de la restriction imposée, selon les résultats de tests cliniques, biologiques et toxicologiques. Les temps de détection dépendent de la sensibilité de la méthode utilisée, de la quantité absorbée, de la voie d'administration ainsi que des molécules à identifier. Dans la mesure où l'analyse urinaire, permettant la recherche d'éventuels métabolites, ne reflète qu'une consommation récente de moins de 5 jours en général, il semble tout à fait justifié de procéder à un prélèvement capillaire car son analyse permet d'élargir la fenêtre de détection des xénobiotiques en renseignant sur le profil d'exposition pendant plusieurs mois voire années, selon la longueur des cheveux, sur son importance et son évolution. Le seul facteur limitant est la longueur disponible de cheveux.

L'intérêt de l'analyse capillaire [6] ainsi que la façon de prélever sont expliqués ci-dessous paragraphe 4.5.2.

3.3. Suivi d'une désintoxication

3.3.1. Désintoxication alcoolique

(Voir chapitre précédent paragraphe 3.6.)

Même si la consommation d'alcool tend à diminuer, l'alcoolisme représente la deuxième cause de morts évitables, après le tabac. Il s'ensuit que l'impact sanitaire et social (coût en hospitalisations de plus d'1 milliard d'euros par an) impose de disposer de tests fiables et sensibles de surveillance des désintoxications alcooliques.

3.3.1.1. Marqueurs directs

En complément de la détermination de l'alcoolémie et éventuellement de l'alcoolurie faisant état d'une consommation relativement récente de la part du sujet, d'autres déterminations permettent d'apprécier l'état d'un éthylisme chronique.

- **L'éthylglucuronide** se forme seulement dans le foie lors du métabolisme de l'éthanol et de l'acide glucuronique et constitue un marqueur spécifique non inductible par les médicaments et indépendant de l'état pathologique du sujet. Il représente moins de 0.5 % de l'alcool absorbé et est détectable pendant

48 à 60 heures dans l'urine ou 6 à 12 heures dans le sérum après exposition. La détermination quantitative de cette molécule permet de déceler les cas de récurrence chez un buveur en cours de désintoxication, après un retrait et lors de la restitution du permis de conduire. Le seuil d'analyse est actuellement situé à 0.5 ng/mL pour le sérum et 1.0 ng/mL pour l'urine. La présence de l'éthylglucuronide dans les cheveux est également utilisée comme marqueur d'alcoolisme chronique sur une période plus longue. Il est même désormais admis que la positivité des cheveux pour cette molécule correspond à une consommation d'éthanol supérieure à 50 g par jour (8 ; 9).

- **Les esters éthyliques d'acides gras (EEAG)** sont détectables dans le sang 24 heures après l'arrêt de la consommation de boisson alcoolisée et peuvent constituer des marqueurs du niveau d'imprégnation éthylique plus représentatifs que les marqueurs conventionnels indirects comme les enzymes hépatiques (γ GT).

3.3.1.2. Marqueurs indirects

- **La détermination du VGM** (volume globulaire moyen) est un élément de suivi de l'éthylisme car une élévation pathologique du VGM, normalement situé entre 80 et 98 femtolitres (10^{-15} L), s'observe après quelques mois de consommation chronique et régulière d'alcool mais cette macrocytose n'est pas spécifique ; on peut la rencontrer dans différentes pathologies digestives - résection, maladie cœliaque.
- **Les gamma-Glutamyl Transférases (γ GT sanguines)**, enzymes hépatiques, croissent régulièrement au cours des hépatites alcooliques. Ce marqueur a été utilisé pour suivre l'évolution de la maladie alcoolique et juger de l'observance du régime restrictif imposé.

Cependant, les γ GT peuvent également augmenter lors du diabète, d'une hyperlipidémie, de l'hyperthyroïdie, et de quelques autres syndromes ainsi que lors de la prise de certains médicaments (barbituriques, antidépresseurs, anticonvulsivants, hypnotiques). Cette détermination a une valeur plus historique que diagnostique d'autant que même si elle est plus rapide pour les γ GT que pour le VGM, la normalisation de ces paramètres biologiques n'est pas immédiate à la mise en place du régime.

- **Les aminotransférases, l'ASAT et l'ALAT** sont des transaminases dont l'élévation sérique correspond à une souffrance hépatique, que ce soit une hépatite, une obstruction des voies biliaires ou une intoxication alcoolique. Peu discriminantes, leur intérêt est limité dans le dépistage de l'éthylisme chronique.
- **La transferrine carboxy déficiente (CDT)** est une protéine impliquée dans le transport du fer, synthétisée par le foie. L'augmentation dans le sang de certaines de ses isoformes peut être corrélée à une surconsommation alcoolique continue de 50 à 80 g d'alcool pur par jour pendant au moins une semaine (0,75 L de vin, 1,5 L de bière ou 0,20 L de liqueur). Chez les sujets abstinents ou sobres, la teneur est inférieure à 26 UI/L (unités internationales) pour la femme et à 20 UI/L pour l'homme. C'est actuellement le marqueur de consommation excessive d'éthanol le plus performant. Toutefois, sa spécificité n'est pas absolue car la CDT croît lors de la grossesse, de carences martiales, de certaines maladies hépatiques non liées à l'alcool et enfin au cours du syndrome de déficience en carbohydrates des glycoprotéines.

Selon le contexte clinique, le choix du bon marqueur est essentiel.

3.3.2. Désintoxication aux stupéfiants

Conjointement à l'analyse sanguine et urinaire dont les fenêtres de détection sont relativement courtes, l'analyse capillaire, comme rappelé ci-dessus (paragraphe 1.3.2), permet de rendre compte du passé toxicomaniaque d'un individu sur plusieurs mois, voire plusieurs années selon la longueur disponible de cheveux (ou de poils) [7].

Pour un toxicomane en cours de désintoxication, il est donc déterminant de réaliser une analyse de cheveux afin de vérifier la réalité de son abstinence. Cependant le coût des moyens techniques à mettre en œuvre et la faible disponibilité actuelle de ces derniers en réduisent la pertinence.

4. Contrôle du dopage

Le dopage ne touche pas que le domaine sportif vers lequel se focalise l'attention publique. Toutes les couches sociales sont cependant concernées, de l'homme d'affaires « sursollicité » à celui qui pour survivre doit multiplier les activités au prix d'absence de sommeil et de l'usage de médicaments que l'on trouve en vente libre dans certains pays (modafinil ou mélatonine) et facilement sur Internet.

Aujourd'hui, le phénomène du dopage, en particulier sportif, a une grande ampleur. L'arsenal du dopage recouvre d'ailleurs nombreux produits déjà évoqués : amphétamines, cocaïne, cannabis et autres stupéfiants, médicaments bêtabloquants, anesthésiques vers lesquels le lecteur est renvoyé. Il faut y ajouter, les stéroïdes anabolisants dont la nandrolone, les catécholamines et les hormones de croissance. Ces derniers produits dopants, prisés par les haltérophiles, les footballeurs, les culturistes, augmentent la résistance à l'effort en faisant croître la masse musculaire, dont celle du cœur, mais produisent des effets toxiques sur les cellules cardiaques, responsables d'infarctus, de cardiomyopathies, d'accidents vasculaires cérébraux parfois mortels. La nandrolone, à haute dose, est responsable d'œdème, d'acné, d'alopécie, d'hirsutisme, de masculinisation de la voix, d'arrêt de croissance, de problèmes génitaux nombreux ainsi que des modifications de l'humeur, premiers symptômes facilement perceptibles sur les stades : agitation, irritation, violence.

Les risques encourus par les utilisateurs sont souvent importants et la difficulté pour déceler certaines pratiques est grande. Le versant analytique est superposable à celui signalé pour les psychotropes. Le milieu le plus analysé est l'urine. Il présente de nombreux aléas notamment liés à son adultération frauduleuse par dilution, échange de prélèvements, addition de nombreux produits susceptibles de masquer les xénobiotiques lors de l'analyse de dépistage.

Il faut par ailleurs assurer une veille permanente pour discerner les nouvelles pratiques dopantes puis trouver la parade analytique parfois avant que les produits en cause soient inscrits sur les listes d'interdiction comme par exemple pour la créatine, les perfluorocarbures ou PFC (oxigent, oxyfluor, perftotan). Ces derniers, substituts du sang et de l'EPO, amènent 4 fois plus d'oxygène aux tissus. Les PFC s'éliminent en vapeur d'eau et dérivés fluorés dans l'air expiré pendant 24 à 48 heures. Leur détection est un problème analytique difficile.

La sensibilité extrême des techniques d'analyse et leur spécificité sont des enjeux importants. Il faut pouvoir distinguer l'hormone dopante de la sécrétion naturelle variable d'un individu à l'autre (testostérone) ou de l'apport alimentaire. Il faut aussi pouvoir distinguer une hormone naturelle d'une hormone de synthèse ou extraite de l'animal. L'érythropoïétine ou EPO en est une illustration. Cette hormone de croissance est sécrétée par l'appareil juxta glomérulaire rénal mais également synthétisée pour améliorer la durée de son effet (Rhu EPO ou EPO recombinante produite par l'animal auquel on a injecté le gène de l'EPO humaine. Plusieurs générations sont disponibles : NESP, CERA). Résoudre les problèmes de différenciation liés à l'extrême proximité de ces molécules complexes au fur et à mesure de leur apparition n'est pas aisé.

Une autre pratique difficile à détecter s'est fait jour. Les sportifs dosent les corticoïdes de telle sorte qu'ils ne dépassent pas les concentrations admises dans les urines. Si 1 gramme d'anabolisant donné produit un dépassement du taux limite, 10 fois 100 mg de dix composés de la même famille ayant le même effet peuvent passer inaperçus car soit chacun d'eux peut se trouver aux limites de sensibilité des méthodes, soit leurs teneurs individuelles restent inférieures aux limites tolérées.

5. La soumission chimique

5.1. Définition

Ce phénomène est fort ancien. En effet, nombreuses ont été les affaires de vols ou agressions sexuelles sous hypnose plus ou moins profonde obtenue sur des victimes au moyen de tampon imbibé de chloroforme ou

d'éther. Ce type de pratique est aujourd'hui très amplifié en raison de l'arsenal important de moyens à la disposition du délinquant. La soumission chimique ou médicamenteuse peut se définir comme :

« *L'administration à une victime et à des fins criminelles (viols, actes de pédophilie) ou délictuelles (violences volontaires, vols), de substances psychoactives* ».

Les substances psychoactives étant susceptibles de modifier l'état de conscience et le comportement, elles peuvent effectivement faciliter toutes sortes d'agression.

La définition précédente implique que la victime est ou n'est pas consciente de la consommation d'un produit chimique. En effet plusieurs cas peuvent être envisagés : la victime peut être contrainte d'absorber une substance sous la menace, ou peut prendre volontairement une substance médicamenteuse ou non et subir l'agression d'une personne profitant de son état confus. Enfin, il ne peut être exclu que ladite victime ne le soit pas réellement mais soit simulatrice et consomme la substance suspecte avant ou éventuellement après le délit présumé pour être disculpée voire pour accuser un tiers.

En France, les premières descriptions cliniques de soumission chimique moderne remontent à plus de 25 ans. Depuis, le phénomène n'a cessé de prendre de l'ampleur : l'enquête nationale menée par l'Afssaps² (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé) recense 432 notifications de soumission chimique entre avril 2005 et fin décembre 2006 et elle publie le 2 février 2009, 220 cas observés en 2007 [11] et en 2013 le [rapport de 2012](#) indique 497 nouveaux cas en 2012 portant le nombre de cas signalés à 1286 depuis 1996.

5.2. Les acteurs

La soumission chimique fait intervenir trois acteurs : un agresseur, une victime et une substance chimique pouvant représenter une véritable arme.

L'agresseur n'est pas toujours connu de la victime, mais il est plus facile pour une personne de l'entourage de cette dernière, ou connue d'elle, de lui faire consommer une boisson ou un aliment.

La victime est le plus souvent de sexe féminin, mais peut aussi être un enfant (pédophilie) ou un sujet âgé. Les femmes sont essentiellement victimes d'agression sexuelle alors que les hommes sont plus fréquemment victimes de vol. Les faits surviennent au domicile de la victime ou de l'agresseur, ou dans un lieu festif (boîte de nuit, soirée, rencontre etc.). Les victimes sont âgées de 30-35 ans, mais le nombre de mineurs concernés est en constante progression.

Les substances chimiques susceptibles d'être utilisées sont nombreuses. Leur absorption est habituellement orale sous forme de boisson, associée à de l'alcool ou à des produits susceptibles de masquer le goût du toxique. Il peut s'agir de jus de fruit, de thé ou de café, de cocktails alcoolisés. Dans certains cas, la molécule est dissimulée dans un aliment, notamment des pâtisseries.

5.3. Les effets

On distingue deux tableaux cliniques :

- d'une part, les victimes « endormies » présentant une sédation et des troubles de conscience rendant possibles vols et abus sexuels ;
- d'autre part, les victimes « actives », conscientes, mais commettant des actes contre leur volonté propre sous le contrôle de leur agresseur (signature de chèques, utilisation de cartes bancaires...). Ce dernier aspect, lié aux propriétés des produits utilisés actuellement, est nouveau et le plus déroutant. Les femmes seules, les enfants et les personnes âgées sont particulièrement vulnérables.

² L'Afssaps est devenue l'ANSM, l'agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé depuis le 1^{er} mai 2012 en application de la loi du 29 décembre 2011 promulguée à la suite de l'affaire du Médiator®.

Les symptômes les plus fréquemment rapportés par les victimes sont les suivants :

- troubles de la vigilance, somnolence ;
- troubles du comportement ;
- confusion ;
- hallucinations ;
- troubles de la vue ;
- perte de mémoire. Le retour de la mémoire des faits s'effectue de façon progressive et fragmentée.

5.4. Les substances utilisées

Les substances ont comme point commun essentiel des propriétés mises à contribution dans la soumission. Elles doivent faire effet rapidement, induire une désinhibition, une sédation, une relaxation des muscles contrôlés volontairement et provoquer une amnésie antérograde c'est-à-dire concernant les faits récents dont ceux qui se déroulent lorsque la victime est sous l'influence de la drogue.

Il est préférable que ces substances soient rapidement éliminées de l'organisme (demi-vie courte). Idéalement, elles doivent aussi être incolores, sans odeur et sans goût.

Les benzodiazépines sont les substances les plus prisées des agresseurs. Elles ont été retrouvées dans environ 60% des cas lors des enquêtes nationales de l'Afssaps de 2005 à 2007 et le rapport de 2012 de l'ANSM (voir ci-dessus) confirme la proportion à 69% en 2012. Les tout premiers cas connus ont mis en cause l'Halcion® (triazolam) mais parmi les benzodiazépines, le flunitrazépam (Rohypnol®) est d'abord la molécule la plus employée. Depuis son interdiction aux Etats-Unis et la modification de sa forme galénique d'une couleur désormais plus foncée (verte) et moins dosée (1 mg au lieu de 2 mg) en France, les agresseurs se sont tournés vers d'autres benzodiazépines telles que le clonazépam (Rivotril®), le bromazépam (Lexomil®) et l'oxazépam (Séresta®). La plupart des benzodiazépines peuvent être utilisées. Les molécules apparentées aux benzodiazépines, le zolpidem (Stilnox®) et le zopiclone (Imovane®), sont deux hypnotiques également fréquemment rencontrés.

Peu d'anesthésiques sont retrouvés et l'usage du **GHB** dite « drogue du violeur » est relativement peu rapporté en France, contrairement à la pensée collective. Cette molécule s'élimine très rapidement de l'organisme, rendant sa détection plus difficile.

D'autres classes de médicaments telles que les *antihistaminiques* (alimémazine (Théralène®, hydroxyzine (Atarax®)) ou les *neuroleptiques* (cyamémazine (Tercian®)) sont également utilisées.

La consommation d'alcool et de cannabis est souvent mise en évidence, notamment chez les jeunes. Absorbés volontairement par les victimes, alcool et cannabis sont un facteur important de vulnérabilité et potentialisent les effets sédatifs et désinhibiteurs des substances administrées par l'agresseur. Ceci est vrai d'une façon générale pour toutes les substances stupéfiantes. Certaines drogues comme les dérivés de l'ecstasy (MDMA) ou les hallucinogènes (LSD) sont capables de modifier suffisamment le comportement de la victime pour être utilisées seules par l'agresseur.

Enfin, les cas où la victime suit un traitement psychoactif ne sont pas rares. La molécule prescrite médicalement est susceptible d'accentuer les effets de la substance employée par l'agresseur.

5.5. Les prélèvements utiles

Trois prélèvements sont utiles en cas de soumission chimique. Il s'agit du sang, de l'urine et des cheveux ou poils.

5.5.1. Sang et urine

La preuve d'un crime par soumission chimique implique que les prélèvements soient pratiqués le plus rapidement possible. En effet, chez les sujets vivants, la métabolisation de nombreuses substances est très rapide. C'est d'ailleurs une des propriétés recherchées par l'agresseur. Ainsi l'alcoolémie diminue en moyenne de 0,15 à 0,20 g/L/h, vitesse pouvant être deux à trois fois supérieure chez un buveur chronique, (voir chapitre précédent, paragraphe 3.6.).

Quant au GHB exogène, il réduit sa concentration sanguine d'environ 50% toutes les 20 minutes et sa disparition est quasi totale en 6 heures dans le sang et 12 heures dans l'urine.

Les benzodiazépines sont éliminées moins rapidement que le GHB; leur demi-vie sanguine est comprise généralement entre une et 70 heures, ce qui leur confère une fenêtre de détection sanguine de six à 72 heures, et urinaire de 24 à 120 heures. D'une façon générale, pour être utile le prélèvement doit être effectué dans les 24 heures suivant les faits pour le sang et jusqu'à 48 heures pour les urines.

5.5.2. Cheveux et poils

Lorsque les prélèvements sont tardifs, il faut alors se tourner vers des échantillons capillaires ou pileux qui permettent d'augmenter la fenêtre de détection à des mois, voire des années. Ceci est souvent le cas en soumission chimique du fait de l'amnésie que peuvent entraîner les molécules utilisées. Le cheveu est constitué à 85 % de protéines, de 10 % d'eau et d'environ 5 % de lipides et d'éléments minéraux. Sa trame structurale est élaborée à partir des protéines issues de la microcirculation capillaire. Ces macromolécules sanguines sont principalement chargées de transporter les xénobiotiques qui s'incorporent dans les cheveux par deux voies.

La première emprunte les vaisseaux sanguins qui vascularisent la racine du cheveu. Les xénobiotiques sont donc incorporés dans les cellules du cheveu le jour de leur absorption et y restent inchangés jusqu'à sa mort. Le cheveu poussant en moyenne d'un centimètre par mois, il est possible d'effectuer une datation de l'absorption supposée en mesurant la distance séparant de la racine du cheveu de l'emplacement du xénobiotique détecté sur celui-ci. Ainsi, si un toxique est présent à 3.5 cm de la racine, il a été vraisemblablement absorbé il y a trois à quatre mois.

La deuxième voie utilise la sueur et le sébum qui véhiculent dans le cheveu, des substances internalisées mais aussi d'origine externe. Elle touche une partie du cheveu plus large que l'incorporation interne précédente et peut gêner l'interprétation chronologique et quantitative des résultats obtenus.

Les paramètres pouvant entraver l'incorporation des xénobiotiques dans les cheveux sont nombreux : état de santé et traitements capillaires (coloration, décoloration, permanente etc.). Par ailleurs, les cheveux blancs incorporent moins bien que les cheveux blonds, eux-mêmes incorporant moins bien que les cheveux noirs. Lorsque le prélèvement capillaire est impossible (calvitie, crâne rasé), ce type d'analyse peut être effectué sur des poils pubiens ou axillaires, voire des poils de barbe. Néanmoins, la vitesse de pousse de ces phanères est moins connue, la datation est donc plus difficile.

L'analyse capillaire peut aussi différencier une exposition unique d'un usage chronique. Elle est alors effectuée par segmentation de la mèche de cheveux : si le produit est retrouvé dans tous les tronçons, cela indique un usage chronique ; s'il est présent dans seulement un tronçon, une prise unique est plus probable.

Le prélèvement est réalisé de préférence sur des cheveux propres généralement au niveau du vertex postérieur, c'est-à-dire sur la partie arrière et haute du crâne. Une mèche d'une soixantaine de cheveux (diamètre d'un crayon à papier) peut suffire. Il doit être réalisé, au moyen de ciseaux (ne pas arracher) d'autant plus près de la peau que la phase de pousse à explorer est proche du moment du prélèvement (il faudra veiller cependant à laisser un intervalle d'au minimum un mois entre le jour des faits et le jour du prélèvement). La racine est identifiée à l'aide d'une cordelette et la conservation est aisée puisqu'elle s'effectue à température ambiante dans une enveloppe ou un tube sec, à l'abri de la lumière et de l'humidité.

Un entretien est mené auprès de la personne prélevée afin de déterminer la couleur originelle, les traitements cosmétiques éventuellement subis avant, ou depuis les faits. Son but est de caractériser tout risque de perturbation de l'analyse (par exemple un traitement des cheveux au henné ou encore une permanente entraîne une altération des fonctions captatrices du cheveu et donc des résultats de l'analyse).

L'analyse des cheveux n'est pas une méthode d'investigation concurrente de celle du sang ou de l'urine mais complémentaire car seul le sang prélevé à peu de distance des faits est susceptible de démontrer précisément une imprégnation lors de leur déroulement.

5.6. Le parc analytique nécessaire

La soumission chimique repose souvent sur l'administration d'une seule dose de substance active à demi-vie courte. Les concentrations sanguines ou urinaires sont donc généralement faibles. Ainsi, les méthodes conventionnelles telles que la chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse ou la chromatographie liquide couplée à un détecteur à barrettes de diodes, peuvent avoir une sensibilité insuffisante pour la détection des produits recherchés. Quant aux concentrations dans les cheveux, elles sont encore plus faibles (de l'ordre de quelques picogrammes par milligramme de cheveux). Ainsi, les techniques couplées à la spectrométrie de masse (GC/MS/MS ou MSⁿ ; LC/MS/MS ou MSⁿ ou Temps de vol) se révèlent être indispensables (voir aussi Chapitre 5, paragraphe 4). La Société Française de Toxicologie Analytique (SFTA) recommande l'équipement de base suivant :

Pour le sang et l'urine :

- une GC/FID : chromatographie gazeuse à détecteur à ionisation de flamme pour l'éthanol ;
- une HS/GC/MS : chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse avec introduction en espace de tête, pour les substances volatiles ;
- une GC/MS : chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse et
- une LC/DAD : chromatographie liquide à détecteur à barrette de diodes pour les stupéfiants, le GHB et certains médicaments tels que les hypnotiques et les antihistaminiques ;
- une LC/MS : chromatographie liquide couplée à un spectromètre de masse pour la recherche d'autres médicaments tels que zolpidem, zopiclone, certaines benzodiazépines et le LSD ;
- quand les prélèvements sont tardifs, GC/MS/MS ou MSⁿ et LC/MS/MS ou MSⁿ sont recommandées.

Pour les cheveux :

- une GC/MS pour les stupéfiants ;
- une GC/MS et une LC/DAD pour une recherche large de médicaments ;
- une LC/MS/MS ou MSⁿ pour les hypnotiques et les benzodiazépines ;
- une GC/MS/MS ou MSⁿ pour le GHB et le cannabis en prise unique.

5.7. Les difficultés rencontrées

5.7.1. D'un point de vue analytique

Dans les affaires de soumission chimique, c'est à des quantités infimes de produit que l'expert est confronté du fait de leur élimination rapide de l'organisme mais également à cause du délai souvent important séparant les faits et le moment des prélèvements sanguins ou urinaires.

Quant aux prélèvements capillaires pour lesquels le délai n'est plus un facteur limitant, les différences d'incorporation dans les cheveux existant entre xénobiotiques peuvent rendre délicate la détection de certains d'entre eux. Or, d'une façon générale, spécificité et sensibilité sont des critères qui s'opposent en matière de mesures physico-chimiques, c'est-à-dire que lorsque l'on cherche à détecter des quantités infimes d'un produit « A » (sensibilité), en deçà d'un seuil, il n'est plus possible d'affirmer qu'un signal détecté correspond plus à la molécule « A » qu'à un produit interférant du bruit de fond (spécificité).

L'évolution des techniques analytiques permet néanmoins de détecter de façon quasi certaine des composés à des teneurs de plus en plus faibles.

5.7.2. *D'un point de vue de la signification des résultats*

Lorsque la présence d'une molécule ne fait aucun doute, il est tout de même nécessaire de prendre quelques précautions pour expliquer sa présence dans les prélèvements biologiques.

En effet, pour calmer la victime, un médecin a pu lui prescrire un anxiolytique ou un sédatif juste après les faits. La victime a pu par ailleurs suivre un traitement médicamenteux comprenant un principe actif utilisé en soumission chimique.

Il est très difficile, voire impossible, de déterminer l'heure exacte de l'administration d'un médicament à partir de sa présence dans le sang ou dans l'urine. Sa détection dans le cheveu ne peut au mieux situer sa consommation que dans une période approximative de 15 jours pour des mesures pratiquées sur des tronçons de mèche de 5 mm. L'imprécision croît avec l'éloignement du moment des prélèvements par rapport à celui des faits.

Enfin, lors de l'analyse de prélèvements capillaires, lorsqu'un composé est détecté sur tous les tronçons de cheveux analysés, il est tentant de conclure à une consommation chronique. Or, comme il a été mentionné préalablement, la sueur et le sébum peuvent participer à l'incorporation d'un xénobiotique dans le cheveu sur plusieurs centimètres (phénomène de diffusion). Dans ce cas, les concentrations de chaque tronçon peuvent éventuellement aider au choix (concentration élevée = prise répétée ; concentration faible = prise unique), mais malheureusement, la presse scientifique n'est pas encore suffisamment documentée pour que ce point soit déterminant.

On comprend que l'expert toxicologue ne soit pas en mesure d'affirmer à partir de son seul résultat qu'il y a eu soumission chimique. Là n'est d'ailleurs pas sa mission. Ce n'est que confrontés à d'autres éléments complémentaires déterminés lors de l'enquête que les résultats d'analyse permettent au juge de forger son intime conviction.

A l'inverse, si aucune molécule n'a été détectée, il n'est pas possible d'infirmer la thèse de la soumission chimique. En effet, comme expliqué ci-dessus, il se peut qu'une molécule ait été absorbée en trop faible quantité pour être mise en évidence par les techniques utilisées actuellement. Par ailleurs, les divers traitements capillaires (coloration, décoloration, permanente etc.) altèrent le cheveu diminuant ainsi plus ou moins la concentration des molécules qu'il renferme. Encore une fois, l'analyse des résultats peut être pondérée par l'existence d'autres critères de l'enquête pouvant participer à réduire ou à l'inverse confirmer le doute de l'analyste.

Cas réel n°1

A Paris, un touriste américain de 73 ans invite un homme à son hôtel pour boire un verre. Trois jours plus tard, il est retrouvé dans sa chambre dans un état comateux et avec une blessure à la tête. Tous ses biens de valeur ont été dérobés. Il est alors hospitalisé pendant cinq jours. Son agresseur est poursuivi pour vol. La victime déclare ne consommer ni produits stupéfiants, ni produits médicamenteux. Le délai entre les faits et la prise en charge de la victime étant important, les enquêteurs demandent une analyse toxicologique des cheveux.

L'expert met en œuvre une extraction LLE spécifique pour chaque famille de molécules suspectées. 12 méthodes différentes sont appliquées (4 GC/MS-SIM, 5 GC/MS-MS et 3 HPLC/MS-MS).

L'analyse capillaire montre la présence de **midazolam**, une benzodiazépine sédatrice réservée à l'usage hospitalier pour induire l'anesthésie (Hypnovel®). Elle est détectée uniquement dans le tronçon de cheveu correspondant aux faits. Aucune autre substance n'est mise en évidence.

La présence de midazolam renforce l'hypothèse d'une soumission chimique. Toutefois, il est nécessaire de s'assurer que l'hôpital n'a pas administré ce médicament à la victime lors de son hospitalisation. Ceci est par la suite exclu et conforte l'hypothèse d'une soumission chimique.

Cas réel n°2

Une jeune femme consomme beaucoup d'alcool lors d'une soirée dans un bar. Elle fume également du cannabis. Le lendemain matin, elle se réveille avec un écoulement de sperme entre les jambes et un homme se rhabillant à côté d'elle. Elle n'a aucun souvenir de la fin de sa soirée et soupçonne qu'on l'a droguée.

Le laboratoire est commis pour effectuer une analyse de son sang prélevé environ 11 heures après les faits.

L'expert détermine l'alcoolémie par HS-GC/MS et une recherche générale GC/MS mode SCAN et HPLC/DAD). Le dosage du GHB est réalisé par GC/MS et une recherche complète des molécules de soumission chimique est pratiquée sur le sang (GC/MS SIM et HPLC/MS/MS). L'alcoolémie au moment du prélèvement est nulle mais on peut éliminer entre 1,1 et 2,2 grammes/L d'alcool en 11 heures.

La concentration en GHB est physiologique mais la 1/2 vie est de 20 minutes. Les seuls xénobiotiques détectés sont le principal métabolite du cannabis ainsi que du bromazépam à une très faible concentration.

Le bromazépam est une benzodiazépine anxiolytique, principe actif de la spécialité Lexomil® pouvant avoir pour effet secondaire une perte de mémoire.

Sa présence permet d'envisager une éventuelle soumission chimique. Toutefois, le Lexomil® peut également avoir été administré à la victime à la suite des faits pour la calmer. La victime peut également en avoir consommé de sa propre initiative. Des renseignements d'enquête montrent que tel n'est pas le cas. Les résultats semblent bien en rapport avec une soumission chimique. Mais l'analyse ultérieure des cheveux pourrait être utile pour mieux l'étayer.

6. La découverte de cadavre (art.74 cpp)

La mort d'une personne ne donne pas lieu systématiquement à une enquête mais elle peut parfois être violente, criminelle ou délictuelle, voire suspecte quand la cause est inconnue.

Les morts sont classées en :

- morts naturelles ;
- morts violentes (crime, suicide, accident) ;
- morts apparemment naturelles mais soudaines (morts subites) souvent considérées par la justice comme des morts suspectes car on en ignore la cause première.

Par l'intermédiaire du procureur de la République qui dirige une enquête pour «recherche des causes de la mort», la justice demande à être éclairée sur ces morts suspectes.

Les cas les plus fréquents de mort qualifiée de violente surviennent par traumatisme ou par empoisonnement. Il y a lieu dès lors de déterminer son origine accidentelle, suicidaire ou criminelle. C'est alors que s'applique l'article 74 du Code de Procédure Pénale (Loi n°72-1226 du 29 décembre 1972 art.10 Journal Officiel du 30 décembre 1972) (modifiée par la loi n°2009-526 du 12 mai 2009 art 127) qui débouche sur une procédure visant « la manifestation de la vérité ». La toxicologie médico-légale est également concernée par d'autres textes réglementaires et législatifs [12] (STUP 19 ; alcool 20).

Que dit l'article 74 du Code de Procédure Pénale ?

« En cas de découverte d'un cadavre, qu'il s'agisse ou non d'une mort violente, mais si la cause en est inconnue ou suspecte, l'officier de police judiciaire qui en est avisé informe immédiatement le procureur de la République, se transporte sans délai sur les lieux et procède aux premières constatations.

Le procureur de la République se rend sur place s'il le juge nécessaire et se fait assister des personnes capables d'apprécier la nature des circonstances du décès. Il peut, toutefois, déléguer aux mêmes fins un officier de police judiciaire de son choix.

Sauf si elles sont inscrites sur une liste prévue à l'article 157, les personnes ainsi appelées prêtent, par écrit,

serment d'apporter leur concours à la justice en leur honneur et en leur conscience.

Sur instructions du procureur de la République, une enquête aux fins de recherche des causes de la mort est ouverte. Dans ce cadre et à ces fins, il peut être procédé aux actes prévus par les [articles 56 à 62](#), dans les conditions prévues par ces dispositions. A l'issue d'un délai de huit jours à compter des instructions de ce magistrat, ces investigations peuvent se poursuivre dans les formes de l'enquête préliminaire.

Le procureur de la République peut aussi requérir information pour recherche des causes de la mort.

Les dispositions des quatre premiers alinéas sont également applicables en cas de découverte d'une personne grièvement blessée lorsque la cause de ses blessures est inconnue ou suspecte.»

Cet article est utilisé par le procureur de la République, lorsque la découverte d'un cadavre ne paraît pas naturelle ou seulement si la suspicion de ne pas l'être existe. Suite à la découverte d'un cadavre, le procureur de la République ou l'officier de police judiciaire qu'il a désigné se rend donc sur place. Il y fait les constatations qu'il juge utiles sur les lieux mais également sur le corps de la victime, avec le concours d'un médecin requis. A l'issue, s'il ne peut déterminer les causes de la mort ou si elles lui semblent criminelles, il ne délivre pas le certificat de décès. Le procureur de la République peut ensuite décider d'ouvrir une information pour les recherches des causes de la mort, et par exemple de faire pratiquer une autopsie.

L'autopsie judiciaire est un moyen irremplaçable dans la recherche des causes et des circonstances d'un décès (voir chapitre 4). L'élucidation de ces dernières repose sur un large éventail de techniques relevant de plusieurs domaines scientifiques (toxicologie, balistique, entomologie, etc.).

Parallèlement aux observations et à l'examen autopsique, des saisies mises sous scellé peuvent être réalisées (médicaments, nourriture, etc.) pour aider à l'identification de la personne décédée ou à la recherche des causes de la mort [13]. En cas d'insuffisance de ces premières investigations, le médecin légiste peut suggérer la demande d'une analyse toxicologique au magistrat qui suit ou non la suggestion, ou qui peut en avoir l'initiative sans avis préalable. L'analyse toxicologique a grandement progressé ces deux dernières décennies et le toxicologue a dû diversifier et accroître ses compétences analytiques dans des domaines souvent intriqués : pharmacologie, dopage, drogues, pollution etc. (voir chapitre précédent).

6.1. Prélèvements autopsiques (voir aussi chapitre 4)

Aujourd'hui, la mort toxique représente environ un cinquième du total des autopsies médico-légales.

Chez le sujet vivant, l'analyse toxicologique requiert essentiellement le plasma, l'urine et éventuellement le liquide gastrique.

Au contraire, pour l'analyse post-mortem, il est important de disposer de tous les milieux biologiques possibles afin de pouvoir constituer un faisceau d'arguments convergents concourant à la preuve de la mort toxique. Il convient de noter que l'expert ne peut pas extrapoler au cadavre, sans aménagements importants et au cas par cas, ce qu'il connaît de l'organisme vivant. En effet, il est indispensable au toxicologue de connaître exactement l'état de conservation du cadavre. Sa putréfaction doit être prise en compte dans la discussion des résultats car la dégradation qu'elle provoque à des degrés divers peut réduire la teneur de certains toxiques voire faire croître des produits de dégradation [14 ; 15]. Elle peut aussi générer des toxiques qui ne sont pas en cause dans le décès suspect (alcool [16 ; 17 ; 18], cyanures, GHB [19 ; 20] etc.).

Enfin, le délai post mortem doit amener à se poser systématiquement la question de la redistribution des xénobiotiques dans le cadavre [21 ; 22 ; 23 ; 24 ; 25 ; 26 ; 27].



Figure 4 : kit de prélèvements autopsiques

La Société Française de Toxicologie Analytique (SFTA) préconise des procédures issues d'un consensus entre toxicologues et médecins légistes afin d'effectuer au mieux les prélèvements d'autopsie qui seront nécessaires à la bonne exécution des expertises toxicologiques. Un kit (figure 4) de 14 ou 15 échantillons en flacons bouchés inviolables dans un contenant en matière plastique à couvercle parfaitement étanche pesant plein au maximum 500 grammes a été retenu.

Les milieux biologiques utiles³ à l'expert toxicologue médico-légal sont principalement ceux décrits ci-après :

6.1.1. Le Sang

Le sang, qui pour un cadavre n'est en fait qu'un **liquide hématique** dans lequel le contenu cellulaire et le sérum sont indissociables. Ce liquide est devenu une matrice complexe comprenant lipides, protéines, ions, acides aminés, débris cellulaires etc., au sein desquels se trouvent éventuellement, et de manière plus ou moins liée, les xénobiotiques à rechercher. C'est toutefois la seule matrice pour laquelle les résultats analytiques quantitatifs peuvent être corrélés à la gravité d'une intoxication.

Les référentiels sont cependant rares et souvent inexistantes pour de nombreux toxiques pour la plupart desquels seul est disponible celui des valeurs sériques ou plasmatiques. Ce liquide hématique est le milieu le plus exploité. Il correspond soit à du sang cardiaque, soit à du sang périphérique.

Le sang cardiaque est inadéquat pour la détection de nombreux toxiques à tropisme intra cellulaire et à fixation cardiaque majoritaire (chloroquine, imipraminiques, etc.). Des teneurs de ces xénobiotiques peuvent apparaître toxiques alors qu'elles sont d'un niveau thérapeutique dans le sang périphérique. Il en est de même pour des substances très diffusibles notamment à partir de l'estomac ou de l'intestin où elles peuvent se trouver à des teneurs massives (alcool par exemple) par rapport à celles qui résultent de leur résorption dans l'organisme vivant. Ces substances ne devraient jamais être dosées dans le sang cardiaque sinon pour établir leur degré de diffusion possible par comparaison à d'autres milieux analysés dans lesquels elles ont également été détectées.

Le liquide hématique du « **sang périphérique** » est moins sujet aux phénomènes de relargage tissulaire et de redistribution post mortem. Sa collecte est moins facile et surtout moins systématiquement réalisée. On dispose généralement de 5 à 30 mL provenant des artères iliaque, sous-clavière, fémorale ou orbitale. On y ajoute 1 à 2 % de mélange conservateur (NaF) permettant de bloquer certaines réactions enzymatiques et la prolifération micro-organique *in vitro* dont l'importance est sans commune mesure avec ce que l'on observe en toxicologie hospitalière.

La détermination de l'alcoolémie et le dosage de molécules à tropisme cardiaque ou à grand volume de distribution ne peuvent être représentatifs des teneurs circulantes pré-mortem que dans le sang périphérique.

³ Sous réserve qu'ils soient bien et rapidement pratiqués après le décès d'une victime, un consensus français et européen admet que 14 prélèvements suffisent aux toxicologues pour aboutir dans leur recherche : 3 tubes de Sang , 30 ml deux fois (cardiaque), 5 à 30 ml de sang périphérique et quelques mL (pour toxiques volatils) ; un tube d'urines : 30 à 50 ml (pour les métabolites) ; un tube de bile : (20 à 30 ml) ; 20 à 30 grammes de chaque viscère : (cerveau, foie, rein, cœur, rate, poumon...) ; Un tube d'humeur vitrée : recueil de la totalité : un échantillon de cheveux : 100 mg (une mèche d'environ 5 mm de diamètre, coupée de préférence à l'arrière du crâne, là où la pousse est la plus régulière réunie par un lien identifié pour rappeler le sens de la pousse).

6.1.2. L'urine

Chaque fois qu'elle est disponible, l'urine est utile pour réaliser un dépistage immunochimique rapide d'orientation notamment grâce à la présence de substances mères et de leurs métabolites à des teneurs importantes. La comparaison de ces dernières données avec les teneurs sanguines peut apporter des éléments d'interprétation en fonction des caractéristiques pharmacocinétiques et toxicocinétiques sur le moment de l'administration du toxique. Le caractère exhaustif du prélèvement jamais garanti, la méconnaissance de la diurèse de règle, tout comme le plus fréquemment l'histoire clinique qui précède le décès, rendent très fragile, dans ces conditions, toute déduction à partir des données quantitatives précises.

6.1.3. Le contenu gastrique

Le contenu gastrique présente un intérêt par sa propre existence. La vacuité de l'estomac ou la présence d'un volume plus ou moins important de matières au moment du décès est une indication sur la phase digestive et par conséquent sur le délai possible écoulé depuis la consommation des toxiques si elle est contemporaine de l'ultime repas. Dans ce dernier cas, il n'est pas rare de retrouver, tout comme dans les vomissures (qu'il convient toujours de recueillir et d'analyser), des particules de substances exogènes, médicamenteuses ou non, parfois intactes. Il sera plus aisé d'identifier les fortes concentrations de principes actifs qui s'y trouvent pour orienter les recherches dans les autres milieux. Les produits ménagers, en particulier, sont toujours plus aisément détectables dans le contenu gastrique.

6.1.4. Les autres milieux

Grâce à l'extrême sensibilité des moyens modernes de détection, l'essentiel des expertises toxicologiques post mortem est aujourd'hui fondé sur l'examen du sang et de l'urine. Cependant, il est important de ne pas méconnaître ce que peuvent apporter à l'analyste les autres milieux dont la collecte doit être systématique lors de l'autopsie. Même si leur exploitation devient l'exception, celle-ci peut compléter, affiner, ou même permettre à elle seule l'isolement de toxiques absents du sang ou des urines en raison de trop faibles volumes disponibles ou de leur mauvais état de conservation.

Ainsi, *les viscères* (reins, rate, poumons, cœur, encéphale) et *la bile* peuvent être fort utiles. La pertinence de leur traitement croît avec le délai post mortem. Grâce à leurs volumes ou masses plus importants, on accède à des quantités résiduelles plus faibles de xénobiotiques. La confrontation des résultats qu'ils fournissent avec ceux du sang et des urines peut autoriser des déductions complémentaires basées sur les propriétés pharmacologiques, pharmacocinétiques et métaboliques des toxiques détectés.

Des essais opérés sur des *échantillons homogènes de plusieurs viscères* apportent des renseignements profitables mais l'analyse d'un *viscère isolé* est parfois plus précieuse.

Les molécules à tropisme cardiaque peuvent être plus facilement détectées dans le *cœur* (digitaliques, antidépresseurs, antipaludéens). Celles à demi-vies courtes le sont dans *le foie et la bile* alors qu'elles ont disparu du sang (c'est le cas des opiacés par exemple : dans la bile, la 6 mono-acétyl-morphine est 10 à 1000 fois plus concentrée que dans le sang).

L'analyse d'un *fragment de poumon* peut être favorable à la détection de toxiques volatils le plus souvent absents des autres secteurs. C'est le cas des produits fumigènes, lacrymogènes ou sternutatoires comme la chloracétophénone, le chlorobenzalmononitrile etc. ou certains anesthésiques, sous réserve d'un prélèvement précoce et d'un contenant parfaitement étanche. L'analyse du *cerveau* est propice à la recherche des substances lipophiles et solidement liées aux récepteurs centraux spécifiques bien après la disparition complète de certains psychotropes du reste de l'organisme. C'est le cas des cannabinoïdes et de quelques opioïdes. Lors d'intoxications chroniques létales, la recherche des métaux lourds (plomb, mercure, arsenic, thallium etc.) est pertinente dans *le rein*. L'insuline, qui peut être un poison insidieux car très difficilement détectable dans le sang de cadavre en raison des insulinasés cellulaires qui la détruisent très rapidement

dans le liquide hématique, peut être détectée dans des *zones de la peau et du tissu sous-cutané* où l'injection peut être suspectée. Les quantités résiduelles de celle-ci peuvent être importantes.

Les prélèvements de viscères restent essentiels dans le cas de découvertes tardives de cadavres ou pour l'analyse toxicologique de cadavres exhumés pour lesquels le résiduel organique disponible, parfois à l'état de débris secs repérés par la position dans le cercueil, représente exclusivement les viscères, les ossements, les téguments, les cheveux et éventuellement les yeux.

Les yeux sont un milieu alternatif complémentaire appréciable. *L'humeur vitrée* prélevée à travers la cornée et le cristallin est particulièrement protégée des contaminations micro-organiques (bactéries, levures, champignons). Ce milieu peut être intéressant pour la recherche d'alcool afin de distinguer le caractère endogène ou exogène de son origine, ou pour indiquer s'il est en croissance ou au contraire en décroissance au moment du décès [28]. L'humeur vitrée est fort utile pour crédibiliser l'absence de glucose dans le sang suite à sa consommation post-mortem par les micro-organismes lors de la putréfaction des prélèvements. En effet, le glucose disparaît très rapidement du sang alors que la réduction de sa teneur dans l'humeur vitrée est lente. Une concentration significative dans ce milieu n'est pas en faveur d'une mort par injection d'insuline même si la concentration du glucose est nulle dans le liquide hématique du cadavre. Le rapport des teneurs des xénobiotiques à demi-vie courte dans le sang, l'urine, les viscères et l'humeur vitrée peut être informatif. Enfin, le potassium de l'humeur vitrée croît proportionnellement au délai post mortem ce qui permet d'estimer très grossièrement ce dernier s'il est inférieur à 5 jours [29].

Les cheveux, les poils et les ongles dont l'intérêt en toxicologie médico-légale chez le vivant est très documenté [30], ont une utilité moindre dans le cadre de l'identification d'une mort toxique. Cependant, présentant l'avantage d'une conservation exceptionnelle même dans des milieux hostiles, ils peuvent fournir des renseignements exploitables dans ce cadre notamment lors de l'exhumation de cadavres anciens. L'intérêt de ces matrices dans le diagnostic d'une intoxication aiguë létale est limité car le xénobiotique n'a généralement pas le temps, avant le décès, de se concentrer suffisamment dans la partie du capillaire accessible à l'analyste. Compte tenu de la vitesse de pousse du cheveu (environ 1 cm par mois), l'analyse ne permet d'apprécier de manière rétrospective la consommation des xénobiotiques que dans une période antérieure, au mieux, par tranches imprécises de une à deux semaines pour les molécules organiques. Certaines techniques comme l'activation neutronique et la fluorescence X sous rayonnement synchrotron⁴ permettent des analyses de minéraux sur des tronçons de 1 mm, voire des fractions de mm de cheveux, ce qui autorise une précision de l'ordre de la journée.

⁴ Voir la note de bas de page 24 paragraphe 4.4. chapitre 5. On dispose en France de deux sources synchrotron. Le Lure a été démantelé pour donner place à l'accélérateur circulaire Soleil à Orsay et l'ESRF de Grenoble.

Ces techniques sont applicables aux toxiques minéraux comme l'arsenic (Affaire Marie Besnard, hypothétique empoisonnement de Napoléon) ou le mercure. Cependant, la mise en évidence d'une répétition d'absorption d'un toxique, objectivée dans les cheveux et corrélée à la présence du ou des mêmes toxiques dans le sang post mortem, est une information utile à l'enquête sur une mort suspecte. Par ailleurs, l'analyse de cheveux révélant la chronicité d'usage des produits dopants ou stupéfiants peut, en cas d'absence de détection de toxiques dans le sang et les autres milieux, conduire à une piste de réflexion sur des morts suspectes d'origine cardiaque, ou survenant à la suite d'œdèmes cérébraux.

Les larves, enfin peuvent être un ultime recours quand la putréfaction du cadavre est complète et qu'il est impossible de le prélever. Les insectes sont en effet un substrat vivant dont les larves se nourrissent des tissus cadavériques. Les xénobiotiques qui s'y trouvent sont stockés dans les exuvies et les fragments de cuticules donc dans les pupes imputrescibles des arthropodes coléoptères, diptères, lépidoptères etc. et sont alors détectables par les mêmes techniques que celles utilisées pour les cheveux. Bien qu'uniquement qualitatifs, les renseignements apportés peuvent être déterminants.



Figure 5 : analyse par fluorescence X : synchrotron du LURE à Orsay Ligne 15 en 2002 ayant servi à mesurer l'As sur les cheveux de Napoléon 1^{er} [31]

6.2. Démarche expertale de l'expert (figure 6)

L'expert est désigné pour exécuter les travaux d'analyse par réquisition du procureur de la République ou, par délégation de celui-ci, par celle d'un officier de police judiciaire, ou enfin par ordonnance de commission d'expert d'un juge d'instruction. Après analyse détaillée de sa mission, l'expert réceptionne les prélèvements, directement au laboratoire ou au greffe d'un institut médico-légal, voire par une autre procédure selon les indications des missions confiées.

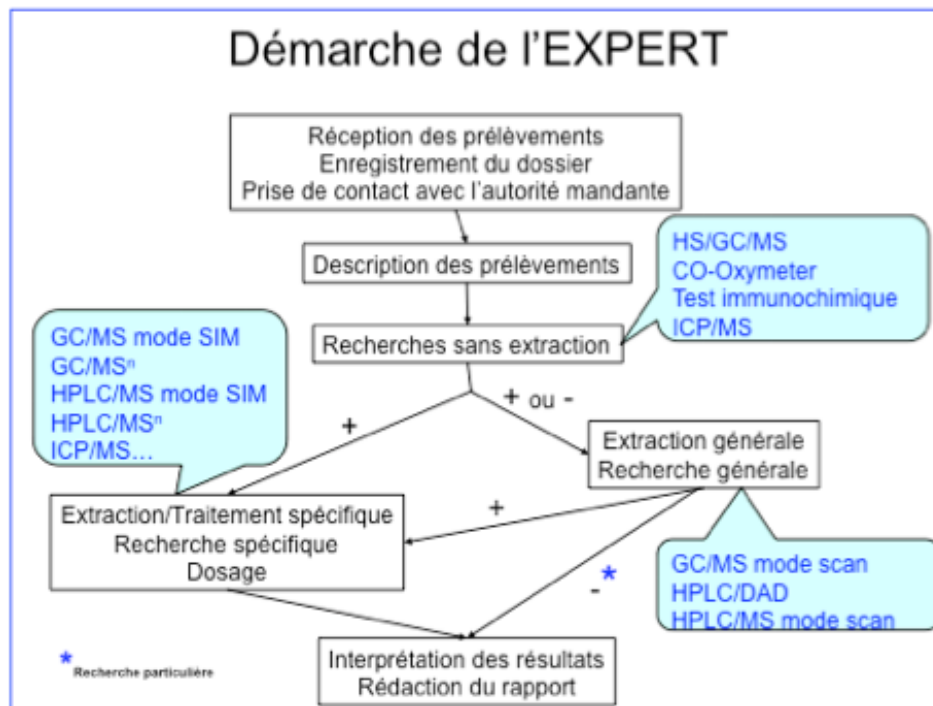


Figure 6 : Démarche de l'expert pour la recherche de cause toxique de mort suspecte

Il enregistre le dossier et prend contact avec les demandeurs en vue de compléter les informations manquantes et d'informer sur sa démarche et le coût de l'expertise. Cette démarche implique éventuellement des précisions ou des aménagements de la mission de la part des magistrats (prise en compte de difficultés insoupçonnées, adjonction d'un sachant ou d'un second expert etc.).

Après accord du demandeur, les différents échantillons sont décrits et photographiés avant d'être utilisés pour analyse (aspect, contenu, odeur, anomalies éventuelles, quantités, poids, volumes, etc.). Les échantillons nécessaires aux analyses sont prélevés, pesés, mesurés en volume, identifiés, numérotés. Les numéros sont déclinés sur tous les récipients secondaires de traitement. La conservation avec traçabilité est ensuite assurée selon le cas à -80°C , -20°C , 4°C , ou température ambiante à sec (cheveux). Ensuite, des recherches ne nécessitant aucune extraction sont effectuées. Il s'agit principalement :

- de recherches du monoxyde de carbone sous forme de carboxyhémoglobine à l'aide d'un CO-Oxymètre par exemple ;
- de détection de composés volatils sur tous les milieux biologiques disponibles par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse avec une injection en espace de tête (HS/GC/MS) ;
- d'un criblage des métaux sur sang total, liquide hématique et urine, après simple dilution acide en solution tensioactive butanolique, par spectroscopie d'émission à plasma inductif couplée à la spectrométrie de masse (ICP/MS) ;
- d'un test d'orientation immunochimique urinaire, voire sur une dilution de liquide hématique.

Quel que soit le résultat des recherches préliminaires, on réalise ensuite une ou des extractions sur différents milieux sélectionnés, voire sur un mélange de viscères, permettant d'obtenir une plus large gamme de molécules organiques. Tous les types d'extraction sont utilisés pour les sangs et les urines, (LLE ; SPE ; SPME...). Pour les milieux plus solides comme les viscères ou le contenu gastrique, le protocole est basé sur le principe de la méthode de Stas-Otto-Ogier (voir chapitre précédent paragraphe 3.1.).

Les techniques employées pour effectuer un criblage de molécules sont, habituellement, l'HPLC/DAD et la GC/MS en mode SCAN et la LC/MS Haute résolution (balayage de toutes les masses possibles), pour les molécules organiques. Le mode SIM beaucoup plus sensible (Selected Ion Monitoring ou choix d'une gamme très étroite de masse ne correspondant qu'à un ion ou un nombre réduit d'ions) n'est pas adapté à l'identification moléculaire.

Si les résultats préliminaires orientent vers une molécule ou une famille de molécules, voire l'identifient dans un des milieux, parallèlement à la recherche générale, on procède à de nouvelles extractions tenant compte des propriétés connues de ces molécules. Ceci permet d'améliorer la sensibilité et les seuils de détection et autorise alors la détection des dites molécules et de leurs métabolites dans d'autres milieux quand elles n'ont pas été détectées au préalable. Ces recherches plus spécifiques sont suivies de déterminations quantitatives.

Les critères d'optimisation sont déterminés par les paramètres d'extraction (pH, solvants, type de support solide etc.), les modes de détection en spectrométrie de masse (SIM ou MS^n), des méthodes particulières (par exemple pour les métaux, fluorescence X, activation neutronique, absorption atomique, ICP/MS...).

Lorsqu'après ces deux étapes analytiques l'ensemble des recherches est négatif, le contexte de l'affaire traitée peut néanmoins amener à effectuer une recherche complémentaire spécifique en GC et/ou HPLC/MS en mode SIM ou MS^n en raison du gain de sensibilité apporté par ces méthodes. Leur absence de spécificité absolue est alors compensée par le choix d'une part, d'ions fragments qualifiants en nombre significatif ou d'autre part, grâce à l'ion moléculaire (molécule entière ionisée) dont on conserve impérativement une abondance appréciable. Le résultat est alors crédible sous réserve de la concordance des temps de rétention chromatographiques et de la superposition des données spectrales obtenues tant pour les molécules identifiées que pour celles de témoins standards traités dans les mêmes conditions.

Dans tous les cas de figure, les résultats positifs ou négatifs sont décrits, expliqués et commentés dans un rapport d'expertise dont deux exemplaires sont adressés à l'autorité de justice demandeuse. Ce rapport comporte le rappel des pièces administratives de saisine et le détail exhaustif des questions posées à l'expert. La démarche analytique et les moyens mis en œuvre sont exposés et expliqués ou éventuellement référencés

au code d'accréditation leur correspondant si tel est le cas. La traçabilité devant être complète, le détail des résultats par toutes les méthodes et techniques utilisées et dans tous les milieux expertisés est rapporté de même que les quantités utilisées et les quantités restantes de ces derniers après analyses ainsi que leur devenir à l'issue (conservation *in situ* en chambre froide, au congélateur, restitution au greffe d'un IML, d'un TGI etc.). Un récapitulatif des résultats doit permettre de conclure par un commentaire sur la signification toxicologique de chacun d'eux et de leur présence conjointe. Enfin le rapport se termine par une réponse conclusive point par point aux questions posées dans la mission.

En cas de conservation des prélèvements au laboratoire, quelle règle doit-on observer ? La durée de conservation n'est pas réglementée hormis pour l'alcoolémie (9 mois). Sauf indication expresse de l'autorité mandante à l'issue de l'expertise, les prélèvements sont conservés selon la place disponible, le plus longtemps possible ; en général au minimum 3 ans. Pour la recherche en toxicologie, cette conservation ne peut pas être indéfinie en raison de la dégradation progressive des xénobiotiques. La destruction des scellés biologiques se fait après accord des autorités judiciaires selon les procédures prévues en milieu hospitalier pour les déchets à risque infectieux et sous contrôle de l'ANSM (agence nationale de sécurité des médicaments et des produits de santé) par des organismes agréés.

6.3. Signification des résultats de l'expertise et difficultés inhérentes

6.3.1. Description schématique d'un cas médico-légal toxicologique simple : Un suicide ?

Renseignement d'enquête

Une dame est retrouvée décédée à son domicile avec auprès d'elle la présence des emballages de nombreux médicaments suggérant aux policiers présents qu'il s'agit d'un suicide.

Le cadavre est en bon état de conservation.

L'enquête révèle qu'il s'agit d'une personne sous traitement anti dépressif.

Une autopsie est effectuée

Le médecin légiste conclut à une intoxication médicamenteuse probable et pratique des prélèvements destinés à une expertise toxicologique. Ces prélèvements ne présentent ni altération ni décomposition, leurs scellés sont intacts.

Expertise toxicologique

L'expert analyse les sangs cardiaque et périphérique, les urines, un échantillon moyen des viscères et le contenu gastrique. Une recherche préliminaire puis une recherche générale et spécifique sont pratiquées.

- La recherche de monoxyde de carbone par la carboxyhémoglobine est négative,
- on obtient par absorption atomique un résultat physiologique pour le lithium,
- la recherche d'éthanol et autres volatils par HS/GC/FID et HS/GC/MS donne un résultat positif uniquement pour l'alcool dans le sang cardiaque (0,16 g/L) et,
- le test EMIT de recherche des psychotropes dans les urines est positif pour les benzodiazépines.
- L'analyse par HPLC/DAD permet d'identifier dans tous les prélèvements de l'oxazépam (Séresta® : benzodiazépine anxiolytique), de la zopiclone (Imovane® : hypnotique apparenté aux benzodiazépines) et de la caféine (0,9 µg/mL).
- L'analyse par GC/MS en mode Scan sur des extraits dérivés par silylation (TMS) et non dérivés, permet également dans tous les prélèvements d'identifier du méprobamate (Equanil®) TMS et non TMS (anxiolytique et sédatif utilisé lors d'alcoolisme chronique), de l'oxazépam TMS, du nordazépam TMS (Nordaz® : benzodiazépine anxiolytique).

- L'analyse spécifique des toxiques suspectés et leur quantification sont réalisées après réextraction (LLE et SPE) sur le sang et urine par GC/MS mode SIM (7 ions) pour recherche de stupéfiants qui est négative et en GC/MS et mode SIM pour le dosage du méprobamate et des benzodiazépines et enfin en HPLC/MS/MS pour le dosage de la zopiclone.

Les résultats sont respectivement dans le sang périphérique et l'urine :

oxazépam = 3.33 et 4,5 µg/mL ; nordazépam = 13.4 et 130 ng/mL ; méprobamate = 126 et 200 µg/mL ; zopiclone : 509 et 120 ng/mL

Le commentaire doit développer les points suivants :

- 1) la seule présence d'une très faible teneur d'alcool dans le sang cardiaque et son absence dans les autres milieux plaident pour une formation post mortem et en tout cas n'ont pas d'incidence toxique surajoutée ;
- 2) la teneur en méprobamate, 126 µg/mL de liquide hématique de sang périphérique, est dans la zone des valeurs mesurées dans le cadre de décès imputés à ce toxique. Les valeurs thérapeutiques plasmatiques habituelles sont de 5 à 15 µg/mL, les teneurs toxiques sont supérieures à 50 µg/mL et les valeurs létales généralement supérieures à 100 µg/mL. De plus ces valeurs plasmatiques sont inférieures si l'on considère leur dilution de 30 à 50 % dans le liquide hématique ;
- 3) l'oxazépam sanguin à 3,33 µg/mL est une teneur très élevée sachant que les niveaux moyens thérapeutiques, toxiques et létaux sont respectivement de 0,2-2µg/L ; 2µg/mL et 3-5 µg/mL ;
- 4) la faible concentration de nordazépam est infra pharmacologique (valeurs habituelles efficaces entre 0,35 et 0,5 µg/mL et toxiques supérieures à 3µg/mL) ;
- 5) la zopiclone est également très élevée 209 µg/mL et supérieure aux teneurs de 150 µg/mL considérées toxiques et potentiellement létales, les teneurs thérapeutiques se situant entre 10 et 100 µg/mL.

L'expertise a exclu la présence dans l'organisme de toute autre toxique notamment stupéfiant. La qualité des prélèvements et celle du cadavre conduisent à ne pas émettre de réserve sur les mesures.

Bien que non toxique, la présence dans le sang de 0,9 µg/mL de caféine est une information à fournir car compte tenu de sa demi-vie de deux à 10 heures, cela signifie une consommation de boisson caféinée au plus dans les 24 heures qui précèdent la mort, ce qui peut intéresser l'instruction.

Il s'ensuit que les toxiques retrouvés : Equanil®, Séresta® et Imovane®, sont pour chacun d'entre eux à des teneurs potentiellement létales hormis le nordazépam qui selon toute vraisemblance provient du métabolisme de l'oxazépam par méthylation ou de la prise plus ancienne d'une benzodiazépine de type diazépam. La potentialisation de leurs effets psychotropes (renforcement de la sédation, du risque de coma et de défaillance circulatoire et respiratoire) à dose potentiellement létale consolide l'hypothèse d'une intoxication aiguë polymédicamenteuse mortelle de la victime. L'expert peut conclure à la compatibilité des résultats de son expertise avec une mort toxique.

6.3.2. Quelques difficultés

Proposer une explication à la présence de xénobiotiques dans le cadavre d'une victime et qui plus est, donner un sens à leurs concentrations sanguines, voire urinaires ou viscérales post mortem, est l'étape de loin la plus délicate de l'expertise.

La connaissance d'informations à propos des circonstances du décès de cette victime, et éventuellement sur son histoire clinique antérieure ou sur ses traitements en cours, peut aider la cohérence du rapport d'expertise et permettre à l'expert d'élaborer un commentaire de ses résultats plus pertinent, plus juste et plus utile à la justice.

Les données démographiques (sexe, âge, poids, ethnie etc.) sont indispensables pour donner un sens aux résultats. La même teneur d'un toxique n'a pas le même impact sur un enfant, un adulte ou une personne âgée et la règle diffère pour chaque xénobiotique. La dilution du toxique dans un organisme varie selon le sexe d'une victime (masse grasseuse différente chez l'homme et chez la femme) et selon son poids. C'est

le cas, en particulier, de l'alcool (voir chapitre précédent paragraphe 3.6.) et de nombreux solvants ou médicaments.

Il a été rappelé, dans le chapitre précédent, le polymorphisme du cytochrome P450 (isozyme CYP2D6) et son rôle primordial dans les réactions d'oxydo-réduction métaboliques de près d'un quart des médicaments couramment prescrits (antidépresseurs, opioïdes). La tâche de l'expert est compliquée par l'inégalité des organismes face à l'épuration toxique métabolique ; certains sont des métaboliseurs lents, d'autres sont rapides voire ultrarapides. Chez un métaboliseur lent, l'administration d'une dose thérapeutique d'un médicament entraîne des concentrations plasmatiques élevées par diminution, soit de l'élimination, soit du métabolisme de premier passage hépatique mais il se peut également, lorsque l'effet du médicament est dû à un de ses métabolites, que son efficacité soit réduite [32 ; 33 ; 34]. Un autre exemple illustre cette difficulté. Sous l'effet du CYP2D6, la codéine [35 ; 36], fréquemment prescrite, est transformée en morphine qui exerce l'activité analgésique. Chez les métaboliseurs lents, l'analgésie du médicament est fortement réduite car cette transformation ne s'effectue pas. A l'inverse chez les métaboliseurs ultrarapides, la production de morphine étant très importante, l'effet antalgique voire stupéfiant de la codéine est amplifié. Une grave intoxication à la codéine administrée à dose usuelle a été décrite chez un homme de 62 ans, métaboliseur ultrarapide qui a été victime d'un coma prolongé qui a dû être traité par la naloxone. La détection de ces polymorphismes dans le sang post mortem permettrait une interprétation plus juste des résultats notamment en distinguant un abus médicamenteux volontaire ou l'inobservance d'un traitement d'un déficit métabolique de la victime [37].

Si l'expert ne dispose d'aucune information sur les circonstances, ce qui est parfois le cas soit par absence réelle de données soit parce que, pour des raisons qui lui sont propres, le magistrat demandeur ne souhaite pas la lui fournir (cas rare), il ne peut alors apporter que des résultats bruts peu exploitables. Toutefois, il lui appartient d'émettre des hypothèses sur leur signification. Ces hypothèses doivent être accompagnées de multiples réserves. L'expert ne peut pas conclure sur l'imputabilité réelle d'un toxique dans le décès de la victime. Les exemples qui suivent illustrent bien ces difficultés qui croissent lorsqu'un seul prélèvement biologique est disponible pour l'analyste.

Recherche de cause toxique de mort, cas n°1 : il n'y a pas de teneur létale, comment conclure ?

Renseignements d'enquête

Une femme de 69 ans est découverte morte dans son lit. Aucune indication n'est fournie à l'expert.

Expertise toxicologique

Les analyses du prélèvement sanguin post mortem (seul prélèvement disponible) conduisent à la présence de pholcodine : 0.15 mg/L, de Lexomil® (bromazépan : 0.18 mg/L), d'Imovane® (Zopiclone : 0.4 mg/L) et d'éthanol (1.2 g/L).

Commentaire

Les teneurs mesurées sont infra-toxiques et aucune substance à elle seule, à ces concentrations, ne présente de risque létal. Cependant, une telle association de psychotropes et d'éthanol, en potentialisant leurs effets sédatifs, hypnotiques, cardio-respiratoires et notamment fortement déprimeurs de cette fonction, peut être létale dans certaines circonstances (personne âgée, première prise, pathologie rénale ou hépatique etc.) et sans intervention médicale d'urgence.

L'expert ne peut que souligner à l'aide d'exemples dont il a eu l'expérience personnelle ou que la presse scientifique spécialisée a pu rapporter, les effets individuels pharmacologiques et toxiques de chaque molécule, leurs interactions (synergiques ou potentialisatrices) et les niveaux des teneurs susceptibles d'avoir entraîné le décès des victimes avec pour chacune d'elles, les circonstances connues de survenue. Le magistrat, les parties et les jurés ultérieurement apprécieront en fonction de ces renseignements, l'imputabilité éventuelle des toxiques dans la mort de la victime.

Recherche de cause toxique de mort, cas n°2 : cadavre très putréfié !

Renseignements d'enquête

Une femme de 33 ans est découverte morte dans sa chambre. La date de la mort remonte à plusieurs jours. Plusieurs boîtes de Rohypnol® (flunitrazépan) et une boîte de Xanax® (alprazolam) sont à proximité du cadavre. Celui-ci est décrit dans le procès-verbal d'enquête, en état de putréfaction avancée.

Autopsie

Le médecin légiste oriente la cause de la mort vers une intoxication médicamenteuse eu égard à l'abondance de médicaments présents à proximité de la victime

Expertise toxicologique

Il s'ensuit que les résultats de l'expertise toxicologique sont d'interprétation difficile d'autant qu'un seul prélèvement de sang cardiaque est fourni pour l'analyse. Compte tenu des conclusions du médecin légiste, les extraits de sang sont traités par différents procédés d'extraction et tous analysés par plusieurs méthodes de détection de principes différents.

Le **flunitrazépan** est identifié à la teneur thérapeutique faible de 0.1 mg/mL et l'**alprazolam** n'est pas détecté. On détecte également 0,2mg/L de **7-amino flunitrazépan**.

Commentaire

La notion de dégradation avancée des prélèvements doit systématiquement faire penser à une sous-estimation des résultats et à la disparition de certains analytes. Le caractère plausible de cette hypothèse est vérifié dans le cas présent car les deux benzodiazépines sont particulièrement sensibles à ce phénomène. Un autre argument va dans le même sens : le métabolite du flunitrazépan (7-amino-flunitrazépan), également produit de dégradation *in vitro* de celui-ci, plus robuste a été identifié et quantifié à une teneur légèrement supérieure à celle de la molécule mère.

L'expert ne peut émettre qu'une hypothèse de plausibilité de consommation par la victime d'une dose au minimum suprathérapeutique de Rohypnol® mais il lui est impossible de dire la relation de causalité entre cette prise et le décès. Il est hautement probable qu'une dose thérapeutique, voire une dose toxique modeste des deux spécialités pharmaceutiques, ne pouvait être détectable et que les teneurs résiduelles de flunitrazépan et de son métabolite, présentes dans un milieu putréfié pendant plusieurs jours, évoquent une prise toxique. Cela ne suffit pas cependant pour étayer sérieusement la démonstration d'une intoxication aiguë et encore moins létale.

Recherche de cause toxique de mort Cas n°3 : mort par manque de toxique !

Parfois l'expert peut par la négative, c'est-à-dire par l'absence de toxiques décelables, apporter une explication plausible à la mort d'une victime sous réserve qu'il ait mis tout en œuvre pour les détecter.

Renseignements d'enquête

Un homme de 32 ans est découvert mort. La seule indication fournie au toxicologue est une ordonnance comportant la prescription suivante : Rivotril : 6 mg par jour, et Dépakine chrono 500 : 1 comprimé matin et soir.

Expertise toxicologique

Des analyses toxicologiques effectuées, il ne peut pas être dégagé une argumentation en faveur d'une cause toxique à la mort de la victime car aucun produit médicamenteux, stupéfiant ou toxique n'est identifié dans les prélèvements sanguins, urinaires et viscéraux.

Commentaire

Néanmoins, la victime était traitée pour une maladie épileptique (Dépakine et le Rivotril étant deux anti épileptiques). Compte tenu de la 1/2 vie de ces médicaments, le résultat de l'expertise signe l'inobservance au traitement depuis au moins plusieurs jours.

Il est utile de savoir que si une personne épileptique est privée de ses médicaments, ne serait-ce que pour quelques heures, une série de crises convulsives peut conduire au coma. Ces situations mettent la vie en

danger et le risque de décès est très sérieux notamment par blocage respiratoire et anoxie cérébrale, si la personne n'est pas traitée rapidement par un service médical d'urgence qui met en œuvre une réanimation appropriée.

Recherche de cause toxique de mort Cas n°4 : Noyade « vitale » ou post mortem ?

Renseignements d'enquête

Une femme a été retrouvée décédée dans le canal de l'Ourcq. Non identifiée au moment de l'autopsie, le médecin légiste conclut à une mort par noyade probable. L'enquête démontre que la victime a été vue vivante la veille. L'expert ne dispose que du prélèvement sanguin ainsi qu'un prélèvement d'eau du canal de l'Ourcq. La mission est l'analyse toxicologique complète du prélèvement sanguin et la comparaison avec le prélèvement d'eau.

Expertise toxicologique

L'expert analyse les deux prélèvements par absorption atomique et fait une recherche exhaustive des toxiques selon la démarche générale décrite ci-dessus. Aucune substance licite ou illicite n'est détectable dans le sang. Les concentrations de strontium mesurées sont respectivement : dans l'eau du canal : 1650 µg/L et dans le sang : 320 µg/L.

Commentaire

Le commentaire de l'expert doit porter sur la durée de séjour du cadavre dans l'eau qui peut avoir une influence sur les paramètres déterminés, notamment au-delà de 5 jours d'immersion dans un cadre classique. Ceci permet de renforcer la validité du résultat puisque la mort remonte au plus à 24 heures.

Il faut rappeler les données concernant la teneur habituelle du strontium des eaux (Baignoire : Sr = 150-500 µg/L ; Rivière : Sr = 150-600 µg/L ; Canal : Sr = 125-2000 µg/L ; Mer : Sr = 4000-12500 µg/L).

L'eau analysée se situe bien dans les teneurs habituelles du canal. Il convient d'expliquer comment le strontium de l'eau est un indicateur significatif de la noyade vitale.

La noyade résulte de la pénétration de liquide par le nez et la bouche, inondant la trachée et les poumons et provoquant la mort par asphyxie mécanique et défaut d'oxygénation. On distingue donc les noyés par immersion. Ils sont vivants avant leur immersion (personne qui ne sait pas nager et qui boit la tasse, personne qui subit un choc dans l'eau l'empêchant de réagir ou personne qu'on noie en exerçant sur elle une contention : attache des membres, charges lourdes etc.). Ces personnes en se débattant, ou non, respirent l'eau dans laquelle elles sont et par suite enrichissent leur sang veineux pulmonaire des composants présents dans l'eau dont le strontium. L'eau devient en quelque sorte « marqueur de la noyade ». Dans ce cas, le strontium qui provient du sable et des roches immergées augmente significativement dans le sang et particulièrement dans le sang du cœur gauche. Cela entraîne aussi une hémodilution qui s'accroît par osmose d'autant plus que le temps de séjour dans l'eau est long.

Il s'ensuit une réduction artificielle de tous les composés présents initialement et une plus grande difficulté à l'interprétation des résultats au-delà de 5 jours d'immersion.

Par opposition à cette noyade vitale, l'**hydrocution**, ou **mort subite par réflexe ou choc cardiaque ou choc thermo différentiel** ou encore les **immersions de cadavre** ne donne lieu tout au moins dans les premiers jours d'immersion à aucun échange avec le milieu aquatique qui puisse avoir une répercussion sur le contenu du sang. Dans ce cas, le strontium n'augmente pas sensiblement. Ces noyés sont dits "**faux noyés ou noyés blancs**" par opposition aux noyés cyanosés dits "**noyés bleus**".

Le référentiel moyen disponible est le suivant : [38 39 ; 40 ; 41 ; 42] la teneur en strontium du sujet vivant est inférieure à 40 µg/L, les valeurs mesurées lors de noyade instantanée dans une eau dont la concentration en strontium est supérieure à 800 µg/L sont généralement inférieures à 125 µg/L. Elles sont situées entre 125 et 172 µg/L lors de noyades rapides et supérieures à 172 µg/L lors de noyade avec longue agonie.

Dans l'exemple choisi, il est alors possible de répondre aux **trois questions** que doit se poser l'expert et qui lui sont généralement formulées par l'autorité judiciaire.

- **La mort est-elle intervenue avant l'immersion ?** La réponse est non, 24 heures d'immersion d'un cadavre dans l'eau d'un canal ne peut pas entraîner une croissance significative de la concentration du strontium.

- **La mort est-elle intervenue après l'immersion et dans ce cas en est-elle responsable ?** La réponse est oui car la teneur de 320 µg/L dans le sang cardiaque n'est pas ambiguë et est typiquement située dans les valeurs mesurées en cas de noyade vitale dans une eau de canal. L'absence de toute autre substance toxique renchérit sur l'hypothèse que la noyade est responsable de la mort. L'autopsie doit préciser par ailleurs qu'aucune cause traumatique ou autre, postérieure à l'immersion, n'a participé au processus mortel.

- **La mort est-elle intervenue après l'immersion et dans ce cas une autre cause toxique est-elle responsable du décès ou y a participé ?** Il n'a été détecté aucune autre cause toxique qui puisse expliquer la mort de la victime autrement que par suite de la noyade.

Le procès d'assises qui s'ensuivra démontrera la justesse de ces conclusions et apprendra à l'expert que la victime a été immergée vivante après une séance de pratique sado-masochiste qui vaudra la peine de prison à perpétuité à l'auteur du crime.

Recherche de cause toxique de mort Cas n°5 : Incendie « quelle est la cause de la mort ? »

Renseignements d'enquête

Un homme est découvert décédé dans son appartement suite à un incendie.

Autopsie

L'autopsie permet de visualiser des suies carbonées encombrant les voies respiratoires. Le sang cardiaque est prélevé pour expertise toxicologique complète.

Expertise toxicologique

Les résultats montrent une saturation relativement modeste de l'hémoglobine par le monoxyde de carbone de 36,1% ; en revanche sont détectés des **cyanures** : 0,97 µg/mL (teneurs normales 0,02 - 0,05 µg/mL, toxiques pour des teneurs supérieures à 0,5 et potentiellement létales à partir de 1 µg/mL) ; du **méprobamate** : 8 µg/mL (valeurs thérapeutiques 5- 15 µg/mL et toxiques, supérieures à 50 µg/mL) et du nordazépam : 481 ng/mL (teneurs pharmacologiques 350-500 µg/mL et toxiques supérieures à 3 µg/mL).

Commentaire

Le commentaire doit faire état de l'incidence des effets pharmacologiques de l'association de deux psychotropes sédatifs anxiolytiques ayant entraîné un sommeil ou vraisemblablement une capacité de réaction réduite face au feu.

La teneur en CO n'est pas à elle seule capable d'expliquer le décès de la victime ; 36,1% de CO entraînent des céphalées, de la fatigue, des nausées et vomissements, une impotence des membres inférieurs, une tendance au collapsus, une coloration rose de la peau et des muqueuses mais pas la mort ; en revanche cette impotence des membres empêche toute fuite salvatrice et la sédation des anxiolytiques la rend impossible.

L'asphyxie oxycarbonée est amplifiée par la toxicité du cyanure dont la teneur est potentiellement létale à elle seule. Cette production est expliquée par la présence dans les lieux de tapisseries brodées en laine ainsi que de mobiliers à base de matière plastique acrylique brûlés au cours de l'incendie.

L'expert peut conclure à une forte probabilité que le décès a eu lieu par suite des conséquences combinées d'un taux d'empoisonnement oxycarbonée significatif, des effets thermiques, de l'action d'autres toxiques volatils comme les cyanures ainsi que les fumées qui encombrant les voies respiratoires associées à l'action sédatif préalable de 2 anxiolytiques.

Recherche de cause toxique de mort cas n°6 : La bouteille suspecte était-elle l'arme du crime ?

Renseignements d'enquête

Un homme est retrouvé par sa femme dans un état pitoyable, recroquevillé dans un coin de la cuisine, urinant et déféquant sur lui-même.

Avec difficulté, il lui indique la bouteille de vin dont il vient de boire un verre. Le patient est transporté à l'hôpital où est diagnostiquée une intoxication aux carbamates. L'analyse des urines montre la présence de métabolites de l'aldicarbe. A l'œil, il semblerait que des grains de Temik® = aldicarbe soient présents dans la bouteille. Le procureur de la République nomme un expert pour analyser le résidu de la bouteille suspecte.

Expertise toxicologique

Une expertise exhaustive est réalisée sur le résidu noir (quelques mg) collé sur le verre de la bouteille de vin suspecte.

Aucun toxique n'est découvert dans les dépôts analysés. La recherche de cyanures, nitrites, chlorates et fluorure (rubigine) est négative. On détecte de la **quercétine**, flavonoïde normale de la vigne et du **diméthomorphe** qui est un fongicide utilisé dans la vigne et en teneur très faible dans le vin. L'alcool résiduel correspond à un vin à 11-12°. Il n'est détecté aucun autre pesticide notamment pas d'aldicarbe.

Commentaire

Si, comme le pensent les enquêteurs, l'aldicarbe (Temick®) avait été mis dans la bouteille suspecte, il s'y serait dissous, ce qu'il est facile à démontrer car seulement quelques grains donnent des signaux analytiques intenses qui ne peuvent passer inaperçus et seraient présents dans le dépôt qui en réalité n'est que du tanin.

L'expert n'a qu'une seule conclusion possible : «en l'état, la bouteille soumise à expertise n'est pas l'arme du crime, si crime il y a eu».

Recherche de cause toxique de mort cas n°7 : Dilemme. La victime est trop intoxiquée !

Renseignements d'enquête

Une jeune femme est retrouvée décédée à son domicile, une bouteille de rhum vide près du corps. Un examen externe est effectué. L'analyse toxicologique du sang cardiaque est demandée par le procureur de la République.

Expertise toxicologique

Les résultats d'analyse donnent : **alcoolémie 24,5 g/L** (incompatible avec la vie à partir de 6g/L), **bromazépam** (anxiolytique) 18 µg/mL très toxique à partir de 1 µg/mL (cas létaux rapportés entre 1,2 et 6,4 µg/mL), **alimémazine** 9 µg/mL (antihistaminique sédatif : cas létaux rapportés entre 1 et 6,5 µg/mL), **venlafaxine** 435 µg/mL (antidépresseur : concentrations létales rapportées de 8 à 90 µg/mL).

Commentaire

Toutes les teneurs sont très supérieures à celles mesurées en cas de décès par intoxication aiguë. On pense automatiquement à une contamination digestive des prélèvements réalisés lors de l'examen externe du cadavre.

Le contrôle du rapport du médecin légiste apprend que la victime est extrêmement maigre, l'hypothèse d'un prélèvement à l'aiguille qui aurait traversé le cœur et atteint l'estomac apparaît possible. Une vérification au microscope permet d'identifier dans le liquide hématique des cellules caractéristiques de l'estomac.

Il n'est alors pas possible de conclure sur les résultats d'analyses hormis à la polyconsommation de médicaments et d'alcool même si le caractère plausible d'un lien entre cette présence et le décès de la victime peut apparaître légitime vu les concentrations très élevées déterminées.

Si l'alcoolémie déterminée est représentative de la contamination et que l'alcoolémie réelle se trouvait par exemple à une valeur comprise entre 0,5 à 2,5 g/L cela revient à dire que le dosage de l'expert est surestimé de 10 à 50 fois, ce qui par extrapolation situerait les concentrations de psychotropes dans les zones pharmacologiques ou subtoxiques pour les deux premiers et toxiques, voire létales pour la venlafaxine. Néanmoins l'expertise ne peut pas à elle seule le confirmer car les teneurs de médicaments dans le contenu gastrique sont après absorption récente sans commune mesure avec celle mesurable dans le sang.

Renseignements d'enquête

Un enfant est retrouvé décédé dans son lit vers 7 heures du matin. Sa mère, une chimiste de formation, n'avertit les policiers du décès que dans l'après-midi. L'appartement est relativement insalubre. Il est demandé à l'expert d'effectuer une recherche toxicologique sur un échantillon de liquide hématique, des soupçons pesant sur la mère.

Expertise toxicologique

Les résultats sont les suivants : aucun toxique organique médicamenteux ou non mais présence de **cyanures** : 68,4 µg/mL (teneur létale à partir de 1 µg/mL). L'analyse a lieu le 25 septembre à 10 heures. Une analyse complémentaire est refaite le 25 septembre à 17 heures ; **cyanures** : 125,4 µg/mL et un nouveau contrôle est effectué le 28 septembre à 17 heures ; **cyanures** 218,6 µg/mL.

Commentaire

La croissance de la concentration en cyanures observée n'est pas possible sur un même prélèvement si du cyanure est seulement présent au moment du décès. L'explication probable est la présence de **bactéries cyanogènes** dans le milieu biologique analysé. L'origine n'a pas pu être démontrée mais l'analyse bactériologique de l'échantillon de sang analysé a fait la preuve de la présence de **bactéries pseudomonas aeruginosa** connues pour produire du cyanure en milieu anaérobie.

L'analyse de contrôle du reste des prélèvements réalisés à l'autopsie de la victime et conservés à l'Institut médico-légal mais dont l'expertise n'avait pas été demandée initialement par le procureur de la République confirme l'absence de tout toxique et en particulier **l'absence de cyanures**. Cet exemple met en lumière une difficulté qu'il convient de lever de manière quasi systématique devant un résultat de cyanures dans un prélèvement tardif ou putréfié.

7. Conclusion

Dans le chapitre précédent, il a été montré que l'expert en toxicologie analytique dispose d'outils considérables qui lui permettent d'identifier et quantifier la quasi-totalité des xénobiotiques susceptibles d'intoxiquer une victime. L'expert est-il pour autant infailible ? Loin s'en faut ! Il existe même des cas pour lesquels il peut être en défaut malgré l'apparente banalité des poisons.

- Un excès de sel de sodium ou de potassium (bébés morts en milieu hospitalier par suite d'injections de chlorure de potassium au lieu de glucose - janvier 1999).

- Une injection d'insuline peut plonger un individu dans un coma hypoglycémique mortel sans qu'on puisse retrouver ensuite l'insuline qui, sans soupçons précis ou signes précomateux observés, n'est pas recherchée parmi les causes toxiques possibles et quand elle l'est, sa disparition normalement rapide et son altération dès l'hémolyse du sang du cadavre donnent peu de chance de détection à l'analyste.

- Hormis l'inobservance du traitement, la maladie elle-même peut être cause de méprises. Le déséquilibre d'un diabète peut simuler l'ivresse. L'haleine acétonique du diabète ou du jeûne prolongé peut faire suspecter une intoxication par l'alcool ou les solvants. Or l'expert ne trouve rien à juste titre mais ne lève pas le doute ... Il en est de même lorsqu'un psychopathe bien équilibré par sa thérapeutique mais n'observant plus son traitement meurt de mort violente. C'est l'absence de toxique qui peut en être la cause indirecte mais on comprend que la preuve analytique soit difficile.

- En 1896, dans son traité de toxicologie, Lewin écrivait à propos des résultats d'analyse post-mortem qu'il fallait se garder de conclusions hâtives en raison de la possibilité non nulle d'introduction de toxiques dans le cadavre après la mort d'une victime. Il commentait l'impossibilité de l'analyste de le distinguer du fait de l'imbibition et de la diffusion rapide de ce dernier dans tout le corps. Il disait de plus que l'absence de détection ne veut pas dire absence d'intoxication car hormis les toxiques non détectables, il faut penser au poison qui a pu être rejeté par vomissement ou être décomposé par putréfaction. Il met également en garde

sur l'emploi de récipients non lavés pour conserver les viscères destinés à l'expertise et sur les toxiques qui peuvent diffuser post-mortem dans le cadavre à partir des objets qui l'environnent (fleurs, vêtements, bijoux).

La sagesse de Lewin est toujours de mise aujourd'hui. Hormis que la plupart des toxiques sont devenus détectables depuis, toutes ses recommandations restent valables.

La responsabilité du toxicologue n'a jamais été aussi grande. Les prouesses technologiques qui lui valent de discerner dans un mélange complexe parfois moins de 10^{-15} gramme (1 femtogramme) de xénobiotique lui confèrent plus que jamais une obligation de rigueur et de discernement scientifiques.

Comme dans toutes les facettes de l'expertise, la crédibilité et la fiabilité des résultats analytiques destinés à mettre en évidence les causes toxiques d'un décès est subordonnée tant à la compétence de l'expert qu'à l'excellence des moyens et à la légitimité scientifique des protocoles analytiques mis en œuvre. La maîtrise de cette qualité se fonde sur l'application de la norme NF EN ISO/CEI 17025. Celle-ci impose de disposer d'un « Manuel Qualité », témoin de la vie et de l'évolution du laboratoire. Il comporte les « procédures qualité » concernant le fonctionnement et l'organisation du laboratoire depuis l'accueil du scellé jusqu'à la validation des résultats d'analyses et au rapport d'expertise. Ces procédures impliquent la traçabilité tant administrative qu'analytique et incluent les modes opératoires analytiques et les protocoles de validation.

La remise en cause de cette qualité est permanente par l'obligation qui est faite à l'analyste de se soumettre à des contrôles de qualité internes et externes, nationaux et internationaux, dont il doit pouvoir faire état pour bénéficier d'une accréditation officielle. En France, « l'organisme accréditeur » reconnu par les instances européennes est le COFRAC (Comité Français d'Accréditation). Cette démarche d'accréditation n'est pas une obligation légale pour les laboratoires de toxicologie en France. L'exactitude, la fiabilité et la rigueur qu'implique son caractère médico-légal et judiciaire en fait une nécessité technique et déontologique absolue.

8. Bibliographie

1) Etude SAM OFDT 2005

<http://www.ofdt.fr/BDD/publications/docs/SAM1.pdf>

2) ONISR, (Observatoire national interministériel de la sécurité routière) La sécurité routière en France. Bilan de l'année 2008, Paris, La documentation française juillet 2009 :100-112).

http://www2.securiteroutiere.gouv.fr/IMG/Synthese/AA_ACALC.pdf

3) Textes législatifs sur l'alcool

Arrêté du 21 novembre 1955 Conditions d'application de l'art. 8 du décret 55807 du 18-06-1955 portant RAP et relatif aux mesures de lutttes contre l'alcoolisme.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT00000255162&fastPos=1&fastReqId=2016683734&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>

Loi 70-597 du 9 juillet 1970 instituant un taux légal d'alcoolémie et généralisant le dépistage par l'air expiré. Modifié par article 5 de l'ordonnance n°2000-930 du 22 septembre 2000 relative à la partie Législative du code de la route. Version consolidée au 01 juin 2001.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT00000874690&fastPos=1&fastReqId=1221437630&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte>

Décret d'application n°71-819 du 1er Octobre 1971 qui précise entre autres les modalités de prélèvements et les documents administratifs liés (fiches A et B-C) à ces derniers et aux examens médicaux et cliniques. Il fixe également la durée maximum de conservation des prélèvements à 9 mois.

<http://www.legifrance.gouv.fr/rechTexte.do?reprise=true&page=1>

Décret d'application n°71-810 du 1er Octobre 1971 précisant les conditions de vérification de l'imprégnation alcoolique par l'air expiré.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT00000694077&fastPos=1&fastReqId=555452363&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>

Circulaire n°72-334 du 28 juin 72 relative à la constatation de l'état alcoolique des conducteurs, des personnes impliquées dans un accident de la circulation et les auteurs présumés de crimes et délits.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000476184&fastPos=1&fastReqId=1588910260&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>

Loi n°78-732 du 12 juillet 1978 Tendante à prévenir la conduite d'un véhicule sous l'emprise d'un état alcoolique.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000886563&fastPos=1&fastReqId=2069099221&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>

Décret n°86-70 du 15 janvier 1986 portant modification du code des débits de boisson et des mesures contre l'alcoolisme.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000522868&fastPos=1&fastReqId=802669921&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>

Décret n°86-71 du 15 janvier 1986 modifiant certaines dispositions du code de la route

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000334901&fastPos=1&fastReqId=1233567523&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>

Décret n°95-962 du 29 août 1995 modifiant les articles R. 233-5, R. 256 et 266 du code de la route fixant un seuil conventionnel pour l'alcoolémie à 0,5 g/L dans le sang et à 0,25 mg/L pour l'air expiré. Les seuils délictuels sont toujours de 0,8 g/L dans le sang et 0,4 mg/L pour l'air expiré.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000189694&fastPos=1&fastReqId=371336824&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte>

Art R118 du CPP Modifié par Décret n°2001-751 du 27 août 2001 - art. 3 JORF 28 août 2001 en vigueur le 1er octobre 2001 fixant la tarification des expertises

Article R234-1 du code de la route modifié par Décret n°2004-1138 du 25 octobre 2004 relatif à la conduite sous l'emprise d'un état alcoolique et modifiant le code de la route.

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=B80C8435D508898B95AC41B4F24D58C5.tpdjo17v_1?cidTexte=LEGITEXT000006074228&idArticle=LE-GIARTI000006841518&dateTexte=20100120&categorieLien=id

Décret n° 2008-883 du 1er septembre 2008 relatif aux éthylotests électroniques Version consolidée au 01 janvier 2009.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000019417350&fastPos=1&fastReqId=1983527999&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte>

4) Fiche « Alcool au volant » :

<http://vosdroits.service-public.fr/particuliers/F2850.xhtml>

5) Articles de lois et décrets concernant le dépistage des stupéfiants

Article 9 - Section 5 – Loi n° 99-505 du 18 juin 1999 portant diverses mesures relatives à la sécurité routière et aux infractions sur les agents des exploitants de réseau de transport public de voyageurs. Dispositions relatives à l'instauration d'un dépistage systématique des stupéfiants pour les conducteurs impliqués dans un accident mortel

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000577775&fastPos=1&fastReqId=642370152&categorieLien=id&navigateur=naturetextenavigateur&modifier=LOI&fastPos=1&fastReqId=642370152&oldAction=rechTexte>

Circulaire 201313 du 2 août 2001 du ministère délégué à la santé, concernant la mise en place du dispositif de dépistage systématique

Arrêté du 4 septembre 2001, précisant les conditions de traitement des données de l'étude épidémiologique visée à l'article 4 du décret

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000591445&fastPos=5&fastReqId=974672178&categorieLien=id&navigateur=naturetextenavigateur&modifier=ARRETE&fastPos=5&fastReqId=974672178&oldAction=rechTexte>

Décret d'application n° 2001-751 du 27 août 2001 et arrêté du 5 septembre 2001, fixant les modalités du dépistage et des analyses et examens prévus au décret

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000772929&fastPos=7&fastReqId=280735721&categorieLien=id&navigateur=naturetextenavigateur&modifier=DECRET&fastPos=7&fastReqId=280735721&oldAction=rechTexte>

Circulaire du garde des sceaux du 21 septembre 2001, présentation des dispositions de l'article 235-1 du code de la route aux Procureurs de la République et aux présidents de Cours d'Appels

Article 21 – Loi du 15 novembre 2001 relative à la sécurité quotidienne consolidée le 14 mai 2009

[http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000222052&fastPos=1&fastReqId=1966272419&categorieLien=id&oldAction=rechTexte` et](http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000222052&fastPos=1&fastReqId=1966272419&categorieLien=id&oldAction=rechTexte)

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=1C76F39694DA4CC033D563F4D0700DF3.tpdjo03v_2?cidTexte=LEGITEXT000006074228&idArticle=LEGIARTI000006841069&dateTexte=20100121&categorieLien=id

Loi n°2003-87 dite Del Agnola 3 février 2003 relative à la conduite sous l'influence de substances ou plantes classées comme stupéfiants

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT00000235043&fastPos=1&fastReqId=1884704302&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte>

Décret n°2003-293 du 31 mars 2003 relatif à la sécurité routière et modifiant le code de procédure pénale et le code de la route.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT00000421143&fastPos=12&fastReqId=1175896251&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte>

Loi 2003-495 du 12 juin 2003 renforçant la lutte contre la violence routière

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT00000603464&fastPos=1&fastReqId=1297484266&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte>

Arrêté du 24 juillet 2008 modifiant l'arrêté du 5 septembre 2001 fixant les modalités du dépistage des stupéfiants et des analyses et examens prévus par le décret no 2001-751 du 27 août 2001 relatif à la recherche de stupéfiants pratiquée sur les conducteurs impliqués dans un accident mortel de la circulation routière, modifiant le décret no 2001-251 du 22 mars 2001 relatif à la partie Réglementaire du code de la route (Décrets en Conseil d'Etat) et modifiant le code de la route.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT00000772680&fastPos=2&fastReqId=343619463&categorieLien=id&oldAction=rechTexte> et

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000019267252&fastPos=3&fastReqId=1558689994&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte>

6) Kintz P., Villain M., Cirimele V., Janey C., Ludes B. Ann Toxicol Décret n° 2003-293 du 31 mars 2003. Restitution de permis de conduire à partir d'analyses de cheveux. Anal tox anal. 2003 ; 15 (2) : 117-122.

<http://www.ata-journal.org/index.php?option=article&access=doi&doi=10.1051/ata/2003012>

7) Code de la route

Chapitre 4 : Conduite sous l'influence de l'alcool. (article 234-1 à 15)

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=72725A96DDAFD2D86365FF73918ECE0.tpdjo17v_1?idSectionTA=LEGISCTA000006159521&cidTexte=LEGITEXT000006074228&dateTexte=20100210

Chapitre 5 : Conduite sous l'influence de substances ou plantes classées comme stupéfiants. (article 235-1-à 4) version consolidée au 1^{er} janvier 2010.

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=96708BD1C5CF01355D36C9FAE8947DAF.tpdjo17v_1?idSectionTA=LEGISCTA000006159522&cidTexte=LEGITEXT000006074228&dateTexte=20100210

8) Kintz P, Villain M, Vallet E, Etter M, Cirimele V. Ethyl glu- curonide: unusual distribution between head hair and pubic hair. Forensic Sci Int. 2008; 176: 87-90

9) Kintz P. Interprétation des concentrations d'éthyl glucuronide dans les cheveux. Ann Toxicol Anal. 2010 ; 22(4): 187-189

10) Code de santé publique Livre IV : Lutte contre la toxicomanie

Titre Ier : Organisation de la prise en charge sanitaire des toxicomanes

Chapitre Ier : Dispositions générales

Section 1 : Centres de soins d'accompagnement et de prévention en addictologie

Articles D3411-1 à D3411-10)

Section 2 : Comité interministériel de lutte contre la drogue et la toxicomanie et de prévention des dépendances.

Articles R3411-11 à R3411-12)

Section 3 : Mission interministérielle. (Articles R3411-13 à R3411-16)

Chapitre III : personnes signalées par l'autorité judiciaire

Section 1 : Les médecins relais. (Articles R3413-1 à R3413-9)

Section 2 : Le déroulement de l'injonction thérapeutique. (Articles R3413-10 à R3413-15)

Titre II : Dispositions pénales et mesures d'accompagnement

Chapitre Ier : Peines applicables (Articles R3421-1 à R3421-3)

Article 3422-1 et 2.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?idArticle=LEGIARTI000006688183&idSectionTA=LEGISCTA000006171220&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20100121>

Article 3424-1

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?idArticle=LEGIARTI000006688190&idSectionTA=LEGIS-CTA000006171550&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20100121>

Article 3425-1 et 2

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?idArticle=LEGIARTI000006688196&idSectionTA=LEGIS-CTA000006171224&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20100121>

11) Résultats de l'enquête nationale 2007 Afssaps CEIP-Addictovigilance de Paris

http://ansm.sante.fr/var/ansm_site/storage/original/application/9e5a4955f3462697342a561b06fb8292.pdf

12) Articles du code de procédure pénale concernant l'expertise toxicologique médico-légale :

Articles 60 ; 74 ; 77-1 ; 156 ; 157 ; 157-1 ; 158 ; 159 ; 160 ; 161 ; 162 ; 163 ; 164 ; 165 ; 166 ; 167 ; 167-1 ; 706-28 ; 706-30-1.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006071154&dateTexte=20100120>

13) **Milan N., Devos B., Sibille P., Plesse J., Ricordel I.** Recherche des causes toxiques des morts suspectes dans le cadre de l'application de l'article 74 du code de procédure pénale Revue Francophone des laboratoires. 2006, 2007, 392 : 69-79

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/1773035X>

14) Drummer, O. H., Postmortem toxicology of drugs of abuse, Forensic Science International 142 (2004) 101-113.

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0379073804001033>

15) Karch, S. B., Is post-mortem toxicology quackery?, Journal of Clinical Forensic Medicine 10 (2003) 197-198.

16) Laviano, C., Production et consommation d'éthanol post-mortem dans deux liquides biologiques, Ann. biol. clin. 56 (1) (1998) 96-99.

17) O'Neal, C. L., Poklis, A., Postmortem production of ethanol and factors that influence interpretation: a critical review, Am. j. forensic med. pathol. 1996 ; 17 (1) : 8-20.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8838464>

18) Gilliland, M.-G.-F., Bost, R.-O., Alcohol in decomposed bodies: post-mortem synthesis and distribution, Forensic Science International. 1993 ; 38 : 1266-1274.

19) Berankova, K., Mutnanska, K., Balikova, M., Gamma-hydroxybutyric acid stability and formation in blood and urine, Forensic Science International. 2006 ; 161 : 158-162.

<http://www.fsijournal.org/article/S0379-0738%2806%2900355-0/abstract>

20) Elliott, S., Lowe, P., Symonds, A., The possible influence of micro-organisms and putrefaction in the production of GHB in post-mortem biological fluid, Forensic Science International. 2004 ; 139 : 183-190.

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=15466927>

21) Skopp, G., Preanalytic aspects in postmortem toxicology, Forensic Science International. 2004 ; 142 : 75-100.

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=15815164>

22) Daldrup, T., A forensic toxicological dilemma: the interpretation of post-mortem concentrations of central acting analgesics, Forensic Science International. 2004 ; 142 : 157-160.

<http://www.fsijournal.org/article/S0379-0738%2804%2900107-0/abstract>

23) Cook, D. S., Braithwaite, R. A., Hale, K. A., Estimating antemortem drug concentrations from postmortem blood samples: the influence of postmortem redistribution, J. Clin. Pathol.. 2000 ; 53 : 282-285.

<http://jcp.bmjournals.com/content/53/4/282.abstract>

24) Rodda, K. E., Drummer, O. H., The redistribution of selected psychiatric drugs in post-mortem cases, Forensic Science International. 2006 ; 164 : 235-239.

<http://www.fsijournal.org/article/S0379-0738%2806%2900068-5/abstract>

25) Pelissier-Alicot, A.-L., Gaulier, J. M., Champsaur, P., Marquet, P., Mechanisms underlying postmortem redistribution of drugs: a review, J. Anal. Toxicol. 2003 ; 27 : 533-544.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14670131?dopt=AbstractPlus&holding=f1000,f1000m,isrcn>

26) Pounder, D. J., Jones, G. R., Post-mortem drug redistribution — A toxicological nightmare, Forensic Science International. 1990 ; 45 : 253-263.

27) Pépin, G., Dubourvieux, N., Gaillard, Y., Wacheux, C., Cheze, M., Etude de la dégradation post-mortem de 20 benzodiazépines, 9 métabolites, de la buspirone, du zolpidem et de la zopiclone dans le sang total par -20°C, 4°C, 25°C, 40°C pendant 6 mois, Toxicorama. 1998 ; 10(3) : 153-163.

28) Deveaux, M., Lenoir, L., Muller, P. H., The determination of alcohol in the vitreous humor. Its correlation with blood alcohol, Acta Med. Leg. Soc. 1985 ; 35 (1) : 38-47.

- 29) Leahy, M. S., Farber, E. R., Postmortem chemistry of human vitreous humor, *Journal of Forensic Sciences*. 1967 ; 12 (2) : 214-222.
- 30) Kintz, P., Value of hair analysis in postmortem toxicology, *Forensic Science International* 142 (2004) 127–134.
<http://www.fsijournal.org/article/S0379-0738%2804%2900105-7/abstract>
- 31) Chevalier P, Ricordel I, Meyer. G. Trace element determination in hair by synchrotron X ray fluorescence analysis of Napoleon 1st hairs. *X ray Spectrométrie* 2005, 35, issue 2, 125-130.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/xrs.878/abstract>.
- 32) Samer, C. F., Pigué, V., Dayer, P., Desmeules, J. A., Genetic polymorphism and drug interactions : their importance in the treatment of pain, *Canadian Journal of anesthesia*. 2005 ; 52 : 806-821.
<http://springerlink.com/content/e087h0t2724p1183/fulltext.pdf>
- 33) Gardiner, S. J., Begg, E., Pharmacogenetics, Drug-Metabolizing Enzymes and Clinical Practice, *Pharmacologica Reviews*. 2006 ; 58 : 521-590.
<http://pharmrev.aspetjournals.org/content/58/3/521.full.pdf+html>
- 34) Belpaire, F. M., Bogaert, M. G., Genetic polymorphism and drug interaction, *Acta Clinica Belgica* 51 (1996) 254-260.
<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3225317>
- 35) Kirchheiner, J., Schmidt, H., Tzvetkov, M., Keulen, J.-T., Lötsch, J., Roots, I., Brockmöller, J., Pharmacokinetics of codeine and its metabolite in ultra-rapid metabolizers due to CYP2D6 duplication, *The Pharmacogenomics Journal* online publication (2006).
<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3225317>
- 36) Gashe, Y., Daali, Y., Fathi, M., Chiappe, A., Cottini, S., Dayer, P., Desmeules, J. A., Codeine Intoxication Associated with Ultrarapid CYP2D6 Metabolism, *The New England Journal of Medicine* 351 (27) (2004) 2827-2831.
<http://content.nejm.org/cgi/content/full/351/27/2827>
- 37) Levo, A., Koski, A., Ojanpera, I., Vuori, E., Sajantila, A., Post-mortem SNP analysis of CYP2D6 gene reveals correlation between genotype and opioid drug (tramadol) metabolite ratios in blood, *Forensic Science International* 135 (1) (2003) 9-15
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0379073803001592>
- 38) Fornes P., Pépin G., Heudes D., Lecomte D. Diagnosis of drowning by combined computer-assisted histomorphometry of lungs with blood strontium determination. *J. Forensic Sci* 1998 ; 43(4) : 772-776.
- 39) Deveaux M., Pépin G. Les métaux marqueurs de la noyade *Annales de Toxicologie Analytique*, 2007 ; XIX, n° 1 : 59-64.2007
<http://www.ata-journal.org/index.php?option=article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/ata/pdf/2007/01/ata2007108.pdf>
- 40) Azparren, J. E., Fernandez-Rodriguez, A., Vallejo, G., Diagnosing death by drowning in fresh water using blood strontium as an indicator, *Forensic Science International* 137 (2003) 55–59.
<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=15178191>
- 41) Azparren, J. E., Ortega, A., Bueno, H., Andreu, M., Blood strontium concentration related to the length of the agonal period in seawater drowning cases, *Forensic Science International* 108 (2000) 51–60.
<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1302757>
- 42) Azparren, J. E., Vallejo, G., Reyes, E., Herranz, A., Sancho, M., Study of the diagnostic value of strontium, chloride, haemoglobin and diatoms in immersion cases, *Forensic Science International*. 1998 ; 91 : 123–132.
<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2158999>

Chapitre 7. Expertise de police scientifique en matière de stupéfiants

F.Besacier

1. Introduction

Pour bien comprendre la stratégie d'analyse et les moyens mis en œuvre, il paraît utile de décrire brièvement les principales substances stupéfiantes présentes sur le marché clandestin et objet des saisies des officiers de police judiciaire qui approvisionnent les laboratoires de police scientifique aux fins d'analyse pour leur identification. En effet, leur mode d'obtention, de préparation et de synthèse des drogues, justifie la recherche de nombreux composés qui y ont éventuellement pris part.

2. Les produits stupéfiants

2.1. Présentation des produits stupéfiants

Un stupéfiant est une substance qui agit sur le psychisme en modifiant son fonctionnement (changements et/ou altération des pensées, sensations, perceptions, humeur, motricité ou comportement de la personne). Il fait l'objet d'une inscription sur une liste fixée par arrêté du ministre chargé de la Santé sur proposition du directeur général de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé. Le stupéfiant est aussi appelé communément drogue.

On distingue dans ce chapitre trois grandes catégories indépendantes de leurs effets ou origines :

- Substances « classiques » comprenant cannabis, héroïne, et cocaïne
- Substances de synthèse comprenant amphétamine, méthamphétamine, MDMA (ecstasy)
- Autres substances comprenant LSD, champignons hallucinogènes, GHB, etc.

2.1.1. Substances classiques

2.1.1.1. Le cannabis (drogue psychodysleptique ou hallucinogène)

Le cannabis, ou chanvre indien, comprend une seule espèce, le Cannabis Sativa L. qui se décline en trois variétés principales, Sativa, Indica et Ruderalis, les deux premières étant les plus répandues. Tandis que la variété Sativa produit des plants assez grands avec des feuilles fines et claires, la variété Indica produit des plants trapus avec des feuilles foncées et larges.

Aujourd'hui, les graines disponibles à la vente sont généralement des hybrides de deux variétés en proportions variables.

La composition chimique du cannabis est complexe avec un groupe nombreux de terpénoïdes, les cannabinoïdes, dont les représentants principaux sont le Δ 9-tétrahydrocannabinol (Δ 9-THC ou THC), le cannabidiol (CBD) et le cannabinal (CBN), celui-ci étant un produit de dégradation du THC. Des trois, seul le THC présente une activité biologique. La figure 1 présente les structures des trois principaux cannabinoïdes.

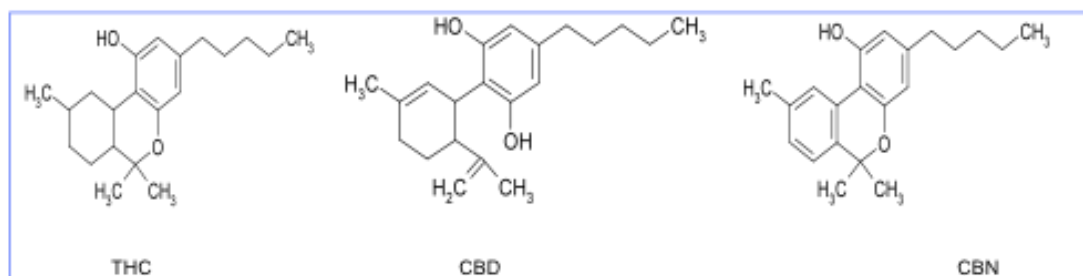


Figure 1 : structures des trois principaux cannabinoïdes.

L'**herbe** de cannabis consommée en France est soit auto-produite sur le territoire, soit achetée via internet ou directement aux Pays-Bas. Par conséquent, les saisies varient des plants complets aux sommités fleuries empaquetées par dose. Les teneurs en THC, entre moins de 2 et 18%, dépendent du prélèvement analysé. Les sommités fleuries se distinguent par des taux plus élevés du fait de la présence concomitante de pollen et de résine (Figure 2).

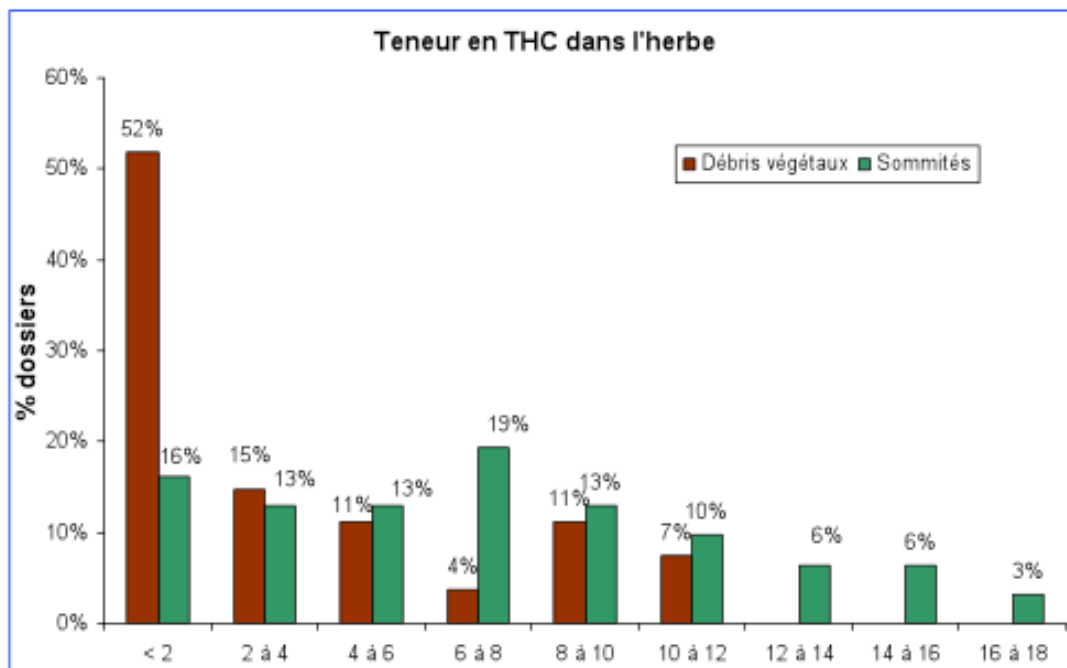


Figure 2 : teneur en tétrahydrocannabinol de l'herbe de cannabis saisie en France (Statistiques INPS 2008).

La résine de cannabis, ou haschich, est produite par tamisage des sommités fleuries des plants. La poudre résultant de l'opération est éventuellement additionnée de produits de coupage (cire, paraffine, etc.) puis compactée et chauffée pour former des plaquettes. Celles-ci présentent le plus souvent des empreintes sur une face.

La résine de cannabis saisie en France provient majoritairement du Maroc et plus précisément de la région du Chefchaouen.

Les teneurs en THC de la résine de cannabis (de moins de 2 à 30 %) dépendent, comme pour l'herbe, du type de prélèvement analysé. Les taux les plus élevés sont rencontrés pour le pollen, sorte de fine sélection des sommités, les plus bas pour les blocs « savonnettes ou pains » de masse voisine de 250g. Les plaquettes, formes les plus fréquentes (format 100g ou 200g), présentent des taux moyens de 8 à 10% en THC (Figure 3). 12% des saisies dépassent 26% (figure 3).

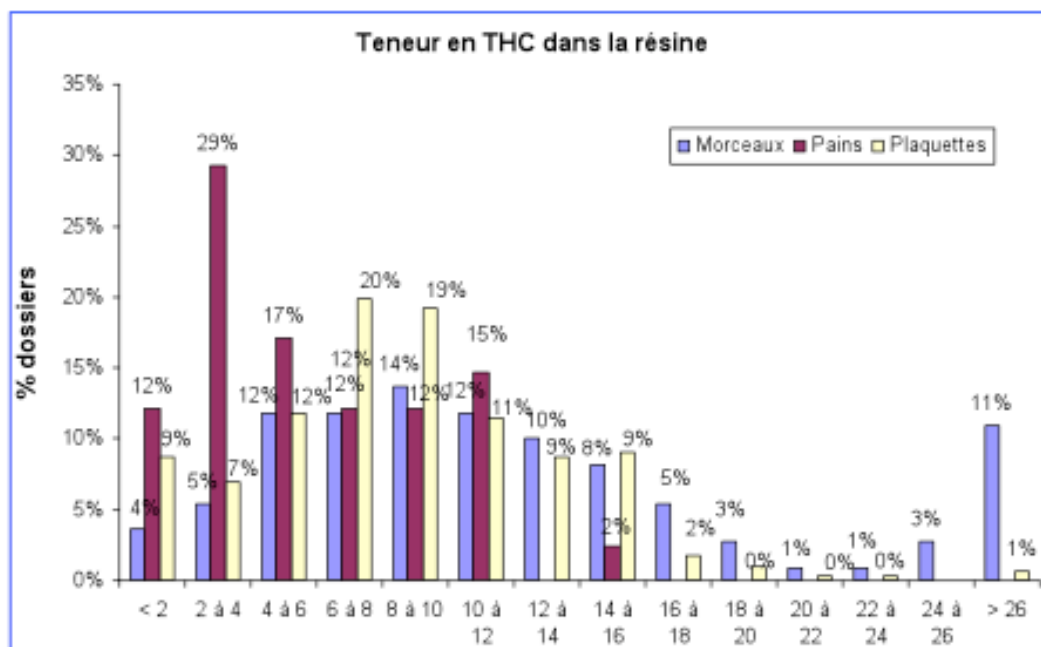


Figure 3 : teneur en tétrahydrocannabinol de la résine de cannabis saisie en France (Statistiques INPS 2008).

Le tableau 1 rassemble quelques données sur l'herbe et la résine de cannabis comparées à celles des principales autres drogues (prix, appellations, quantités saisies).

Produit	Prix de gros Le kilo	Prix au détail Le gramme	Appellations	Quantité saisie en France en 2007	Quantité saisie en France en 2008
CANNABIS			Marijuana, beuh, ganja, weed		
Herbe	2100 à 4000 €	5 à 7 €	Marijuana, beuh, ganja, weed	3 047 kg	3422 kg
Résine	1300 à 2000 €	4 à 6 €	Haschish, hasch, shit	34,2 tonnes	71 tonnes
HEROINE				1 035 kg	1117 kg
Brune (base)	15000 à 30000 €	30 à 55 €	Brown, rabla		
Blanche (sel)	20000 à 40000€	30 à 80 €	Thai, blanche		
COCAINE	27000 à 40000 €	60 à 80 €	Coke, coco, cc,	6 578 kg	8214 kg
AMPHETAMINE	/	10 à 70 € le g 10 à 15€ le cp ou la gélule	Amphé, speed	307 kg	109 kg
MDMA (ecstasy)	1000 à 2500 € les 1000 comprimés	5 à 9 € le cp	Ecsta, XTC	1 359 912 comprimés	342 923 comprimés
LSD	/	5 à 15 € le buvard	Acid	1 3107 doses	90021 doses

Tableau 1 : Prix, appellations et quantités saisies pour les principaux produits stupéfiants.

2.1.1.2. La cocaïne (drogue stimulante)

La coca comprend deux espèces, *Erythroxylum* (E.) coca et E. novogranatense, qui se déclinent en quatre variétés principales E. coca var. coca, E. coca var. ipadu, E. novogranatense var. novogranatense et E. novogranatense var. truxillense.

Les espèces coca et novogranatense diffèrent par la tige, verruqueuse pour la première, lisse pour la deuxième, ou par la crête de la nervure, aigüe pour la première, aplatie pour la deuxième. Le fruit du cocaïer est une petite drupe rouge.

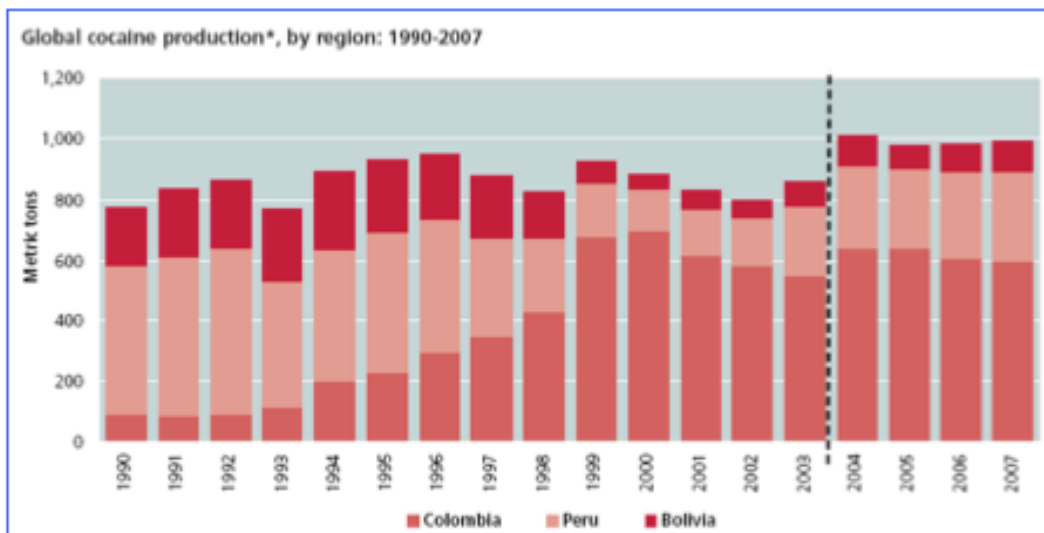


Figure 4 : Production mondiale de cocaïne (UNODC, world drug report 2008).

Trois pays d'Amérique du Sud sont les principaux producteurs : la Colombie, majoritaire, le Pérou et la Bolivie d'où la drogue est exportée en Amérique du Nord et en Europe (figure 4) [1].

La feuille de coca renferme des alcaloïdes dont le plus connu est la cocaïne (figure 5), entre 0.5 et 1.5% suivant les variétés et la localisation géographique. On distingue deux méthodes principales de fabrication de cocaïne base à partir de la feuille de coca :

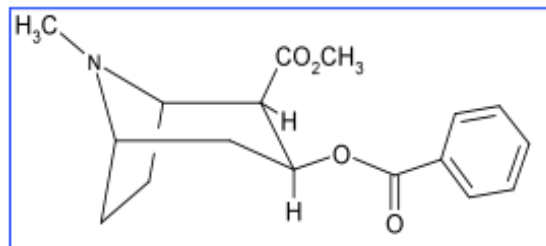


Figure 5 : Structure de la cocaïne

Méthode directe

Les feuilles de coca sont placées dans une cuve avec de l'acide sulfurique et de l'eau. L'ensemble macère quelques heures, puis s'ensuit généralement une opération de piétinement et une nuit de macération. Le matin, l'eau acidifiée est filtrée pour éliminer les résidus végétaux et versée dans un bidon, c'est « l'agua rica ». L'opérateur ajoute ensuite du ciment puis de la chaux jusqu'à neutralisation. Du carburant (fioul ou kérosène) est additionné et l'ensemble agité énergiquement. La phase organique supérieure est récupérée et mélangée de nouveau avec de l'eau acidifiée, agitée, décantée et soutirée. Le carburant est réservé pour de futures extractions.

Fréquemment, une solution de permanganate de potassium est alors ajoutée à l'agua rica pour oxyder les impuretés de la cocaïne. Après filtration, la cocaïne base est précipitée par de l'ammoniaque ou du bicarbonate de soude.

Méthode basique

Les feuilles de coca sont broyées et mélangées à de la chaux, du ciment et/ou de l'urée. De l'eau est ajoutée petit à petit puis après piétinement, macération, transfert dans un bidon puis ajout de carburant, agitation et décantation, la phase organique est soutirée et filtrée. De l'eau acidifiée est alors ajoutée, et l'ensemble est agité. L'eau est extraite et alcalinisée par du bicarbonate de soude qui précipite la cocaïne base.

La cocaïne est souvent purifiée par chauffage, soit directement, soit après addition d'eau de javel qui forme des gouttelettes huileuses qui sont éliminées.

La cocaïne base est ensuite convertie en chlorhydrate par ajout d'acide chlorhydrique alcoolique ou acétique.

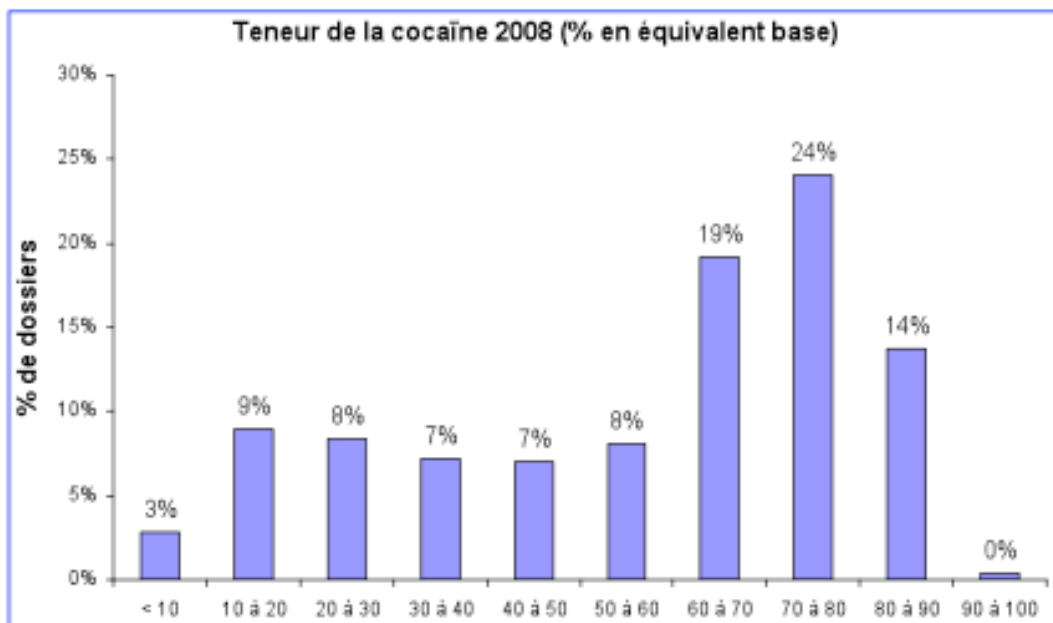


Figure 6 : Teneur de la cocaïne saisie en France (Statistiques INPS 2008).

La cocaïne importée en France est une poudre granuleuse blanc cassé de teneur variant entre 70 et 90%. Elle est ensuite fréquemment coupée à l'aide de sucres (mannitol, inositol, lactose) ou de substances pharmaceutiques (phénacétine, lidocaïne) pour obtenir des teneurs voisines de 20% lors de sa vente en « doses de rue » (figure 6).

2.1.1.3. Héroïne (drogue dépressive)

L'héroïne provient de la morphine extraite d'une des nombreuses espèces du pavot : *Papaver Somniferum* L., qui contient des alcaloïdes à squelette morphinane. Cette espèce comprend des sous-espèces (*Somniferum*, *Setigerum*, *Songaricum*) aux variétés les plus connues : *Album* à fleurs blanches, *Glabrum* à fleurs pourpres, cultivées en Asie, et *Nigrum* aux fleurs violacées cultivée en Europe aussi appelée pavot oeillette dont les graines gris violacé sont largement commercialisées.

Les cultures de pavot à opium, *Papaver Somniferum* L. var *Album*, concerne deux continents, l'Amérique (Mexique, Colombie) mais surtout l'Asie avec l'Afghanistan et le Myanmar (figure 7) qui en 2007 représente 82% de la culture de pavot et 92% de la production d'opium dans le monde [1].

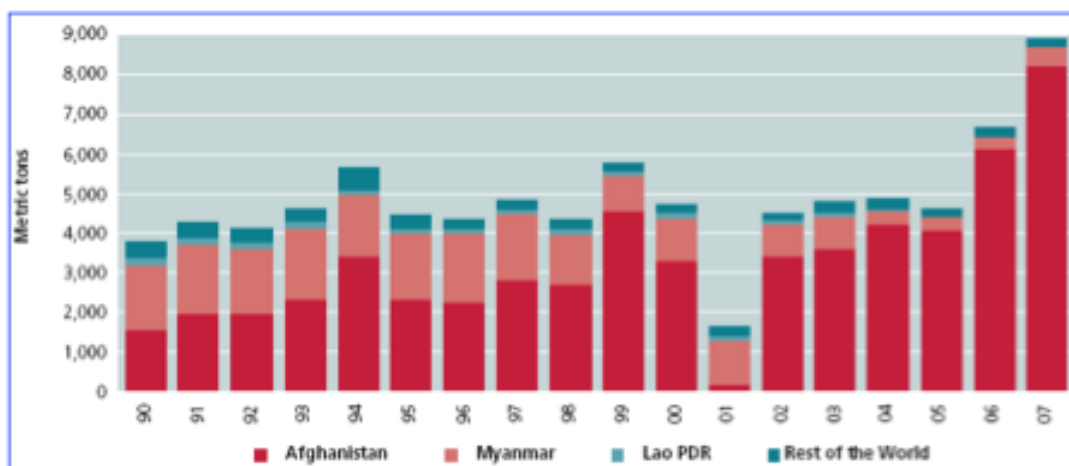


Figure 7 : Production mondiale de pavot à opium (UNODC, world drug report 2008).

L'opium est produit de façon très artisanale en Afghanistan, par incision manuelle des capsules de pavot puis séchage du latex à l'air libre. La morphine base est extraite par ajout d'eau chaude, agitation, addition de chaux et macération pendant une nuit. Le liquide est alors filtré et réservé alors que le résidu d'opium compressé fait l'objet d'extractions supplémentaires.

Les solutions contenant la morphine base rassemblées sont additionnées de chlorure d'ammonium jusqu'à précipitation. Après filtration, la poudre humide est récupérée et séchée à l'air libre. C'est la morphine brute.

La synthèse d'héroïne procède en une seule étape par réaction entre la morphine et l'anhydride acétique à chaud pendant une heure environ. L'héroïne base est précipitée dans ce mélange filtré et dilué à l'eau, par du carbonate de sodium. L'héroïne base peut être purifiée par dissolution dans l'acide chlorhydrique dilué en présence de charbon actif qu'on laisse agir pendant une demi-heure puis filtration et nouvelle précipitation par ajout d'ammoniaque (figure 8).

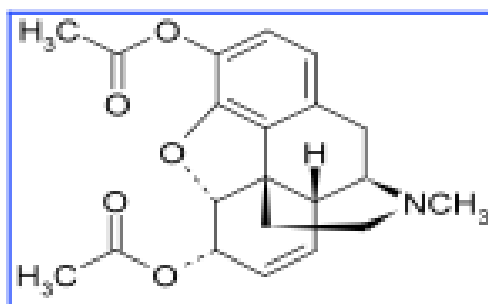


Figure 8 : Structure de l'héroïne.

La conversion en chlorhydrate d'héroïne est réalisée par évaporation après dissolution de la base dans de l'acétone et de l'acide chlorhydrique.

L'héroïne saisie en France est essentiellement sous forme base, en poudre granuleuse beige, de teneur faible et largement coupée principalement à l'aide d'un mélange de caféine et de paracétamol (figure 9).

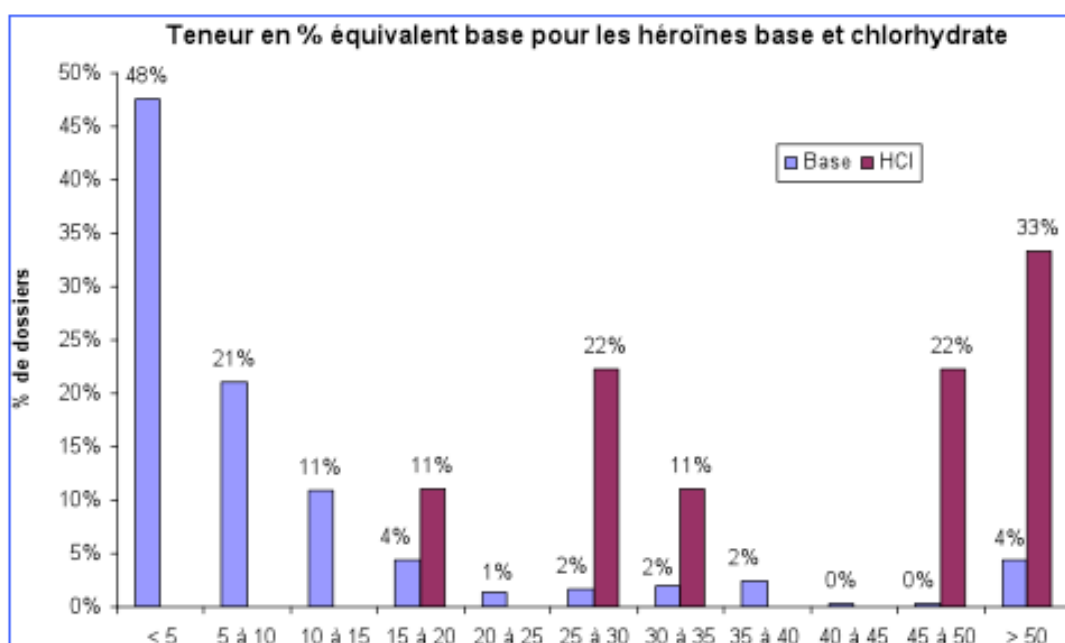


Figure 9 : Teneur de l'héroïne saisie en France (Statistiques INPS 2008).

2.1.2. Les substances de synthèse

Dans cette catégorie de Stimulants de Type Amphétamine (STA) ou « designer drugs », se trouvent un ensemble de dérivés de la phénéthylamine ou de la 3,4-méthylènedioxyamphétamine (MDA).

Les trois principales sont l'amphétamine, la méthamphétamine et la 3,4-méthylène-dioxy-méthamphétamine (MDMA) (figure 10) [1].

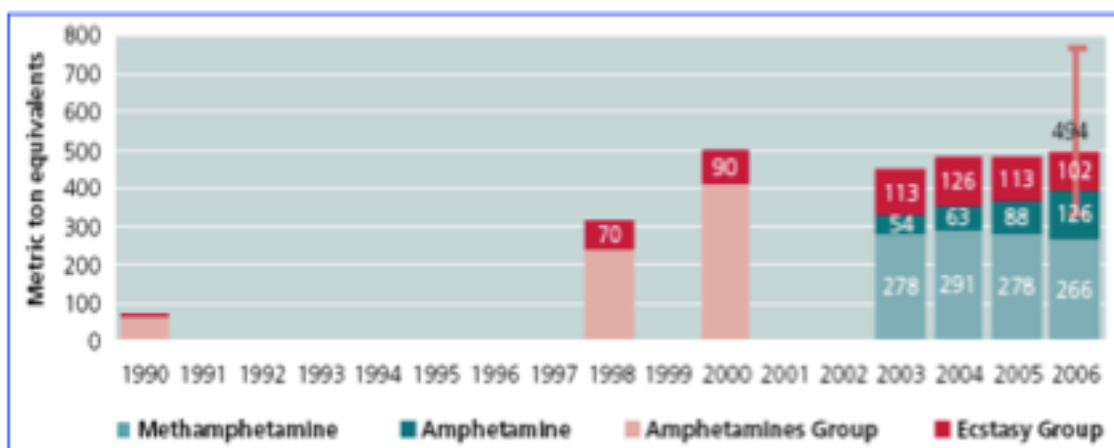


Figure 10 : Production mondiale des STA (UNODC world drug report 2008). Le terme amphétamines regroupe les deux molécules amphétamine et méthamphétamine sans distinction.

2.1.2.1. L'amphétamine

L'amphétamine est généralement produite par la méthode de Leuckart à partir d'une cétone, la phényl-2-propanone (P2P ou BMK) qui réagit en présence de formamide et d'acide formique pendant 4 heures à 140°C pour donner un intermédiaire, la N-formyl amphétamine. Le matériel requis est de type chimie industrielle. La N-formyl amphétamine refroidie et lavée à l'eau est ensuite additionnée d'acide chlorhydrique concentré et chauffée à reflux pendant 2 heures. Après refroidissement et alcalinisation par la soude caustique, l'amphétamine base se présente sous forme d'une huile. Elle est convertie en sulfate par l'acide sulfurique en milieu éthanolique (figure 11).

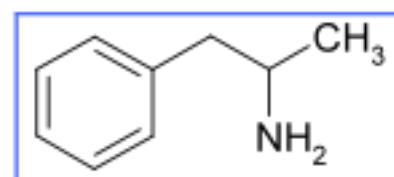


Figure 11 : Structure de l'amphétamine.

L'amphétamine est produite essentiellement en Europe de l'Est (Pologne, Bulgarie, Russie) et aux Pays-Bas.

En France, l'amphétamine saisie se présente en poudre pâteuse. La drogue de rue coupée généralement par de la caféine titre moins de 10%.

2.1.2.2. La méthamphétamine

La méthamphétamine possède deux énantiomères, la dextro-méthamphétamine aux propriétés psycho-actives stimulantes et la lévo-méthamphétamine qui est un décongestionnant. Elle est produite de deux façons, soit à partir de la P2P comme l'amphétamine en remplaçant le formamide par le N-méthylformamide, soit à partir d'éphédrine ou de pseudoéphédrine.

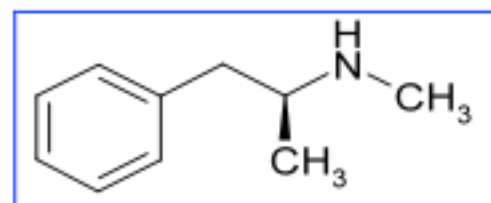


Figure 12 : Structure de la méthamphétamine.

Dans le premier cas, on obtient un mélange racémique de dextro et lévo-méthamphétamine alors que dans le deuxième la synthèse conduit à la seule dextro-méthamphétamine. Cette dernière méthode qui comporte 4 variantes transformant l'éphédrine en méthamphétamine est donc la plus fréquemment utilisée, notamment en Asie, en Océanie et en Amérique du Nord :

- réduction de Birch au moyen du lithium ou du sodium dans l'ammoniaque ;
- méthode de Nagai avec le phosphore rouge et l'acide iodhydrique ;
- méthode de Rosenmund qui recourt à l'acide perchlorique, l'hydrogène et le sulfate de baryum-palladium ;
- méthode de Emde qui passe par un intermédiaire, la chloro-pseudoéphédrine obtenue par réaction entre la pseudoéphédrine et le chlorure de thionyle, réagissant avec l'hydrogène et le sulfate de baryum-palladium.

Pour être fumée, la méthamphétamine base doit être convertie en chlorhydrate (figure 12).

La méthamphétamine est également souvent produite en petite quantité dans des « laboratoires de cuisine », notamment aux Etats-Unis. Elle est ensuite vendue sous différentes formes, poudre de couleur variée, cristaux (ice, crystal), comprimés (ya-ba). Très peu de saisies sont réalisées en France.

2.1.2.3. La MDMA

La MDMA est habituellement produite dans un réacteur d'où l'air est extrait et remplacé par l'hydrogène sous pression de 3 à 4 bars, à partir de la 3,4-méthylènedioxyphényl-2-propanone (MDP2P ou PMK en anglais) par amination réductrice en présence d'oxyde de platine, de méthylamine anhydre et de méthanol. L'opération se fait sous agitation et à chaud (sans atteindre 60°C) pendant 2 heures. Après refroidissement, l'hydrogène est évacué et la solution récupérée. Le platine est recyclé, la MDMA base qui se présente sous forme d'huile est distillée.

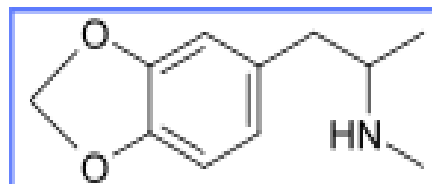


Figure 13 : Structure de la MDMA.

Une variante dite « méthode froide » utilise du borohydrate de sodium au lieu d'hydrogène. Le mélange MDP2P /méthylamine est refroidi à -5°C avant d'ajouter lentement du borohydrate de sodium de manière à conserver une température inférieure à 10°C. Après plusieurs heures, la MDMA base est récupérée et purifiée.

Comme pour l'amphétamine, un équipement de synthèse de l'industrie chimique est nécessaire.

La MDMA base peut être convertie en chlorhydrate par ajout d'alcool et d'acide chlorhydrique (figure 13).

La MDMA saisie en France se présente en poudre cristalline ou plus souvent en comprimés de couleur incrustés de logos de marques connues. La teneur en MDMA varie suivant la forme utilisée (figure 14).

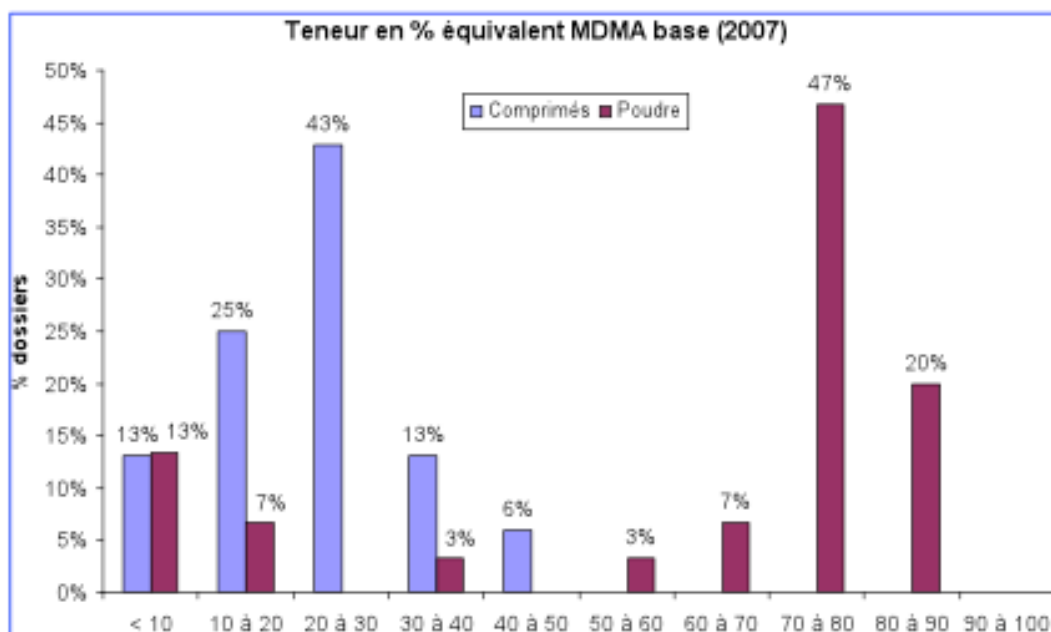


Figure 14 : Teneur de la MDMA saisie en France (Statistiques INPS 2007).

2.1.3. Autres substances

2.1.3.1. Le LSD

Le précurseur du N, N- diéthyllysergamide ou LSD est l'acide lysergique principalement obtenu par hydrolyse des ergopeptines, alcaloïdes majoritaires du *Claviceps Purpurea* ou ergot de seigle. Les ergopeptines (ergometrine, ergotamine, ergonovine), sont disponibles commercialement ou produites par biosynthèse à partir du champignon prélevé sur les épis de seigle un peu avant leur récolte. Le *Claviceps* est ensuite mis en culture dans un milieu approprié, stérile, à pH 4. La maturation dure plusieurs semaines sous atmosphère stérile enrichie en oxygène et à l'obscurité. L'acide lysergique est ensuite extrait par le mélange chloroforme/isobutanol à pH 9.

La synthèse du LSD consiste à greffer le groupe diéthylamide sur l'acide lysergique par réaction de la diéthylamine en présence de POCl_3 en milieu chloroformique. Le LSD est extrait dans la phase organique alcalinisée par l'ammoniaque, évaporée puis séchée.

L'opération est rapide, mais la molécule est instable ce qui justifie un faible rendement (20% maximum) même en travaillant sous lumière rouge et en contrôlant température et humidité. C'est pourquoi, le LSD est souvent stabilisé par formation du tartrate (figure 15). Par ailleurs la synthèse conduit à la formation de plus ou moins d'iso LSD inactif dont il faut assurer la conversion en LSD ou l'élimination ce qui pose problème.

Le lysergamide extrait des graines d'*Ipomea Violacea* (Morning Glory) ou d'*Argyreia Nervosa* (Hawaiian Bany Woodrose) est une autre source possible de précurseur de biosynthèse, mais économiquement peu avantageuse.

2.1.3.2. Les champignons hallucinogènes

Les champignons hallucinogènes appartiennent majoritairement à la famille des Strophariaceae, ou Psilocybes dont les plus consommés sont *Psilocybes Cubensis*, *Mexicana*, *Semilanceata* et *Cyanescens*. Leur habitat naturel est vaste (Amérique, Europe, Asie) mais les deux premières font l'objet de culture pour leur commercialisation.

Leurs principes actifs sont la psilocine et la psilocybine, molécules de la famille des tryptamines (voir chapitre 5 paragraphe 3.3.5.2.).

2.1.3.3. Le GHB

Le GHB, acide gamma hydroxybutyrique ou gammahydroxybutyrate (de sodium ou potassium) est un composé anesthésique connue médiatiquement comme drogue du viol (voir chapitres 5 et 6).

Très soluble dans l'eau ou l'alcool, inodore et incolore, le GHB est fréquemment fabriqué à partir du GBL (Gammabutyrolactone) par réaction avec de la soude (figure 16).

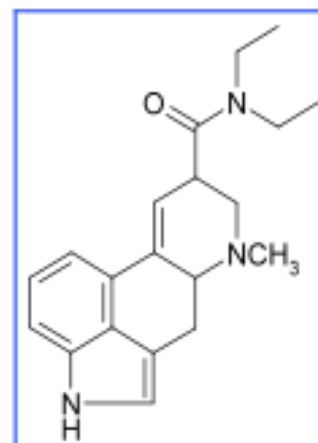


Figure 15 : Structure du LSD.

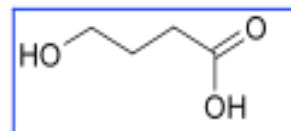


Figure 16 : Structure du GHB.

3. Stratégie d'analyse

3.1. De la saisie au laboratoire d'analyses

Les sections Stupéfiants des Laboratoires interviennent dans deux cadres juridiques distincts et selon une disposition exceptionnelle de la Direction Générale de la police nationale :

- Les examens techniques et scientifiques réalisés à la demande du procureur de la République ou des officiers de police judiciaire. Les prélèvements sont effectués en application des articles 54, 56 et 60, ou 76 et 77-1, ou 81 et 151 du code de procédure pénale [3], placés sous scellés, et transmis au laboratoire accompagnés d'une réquisition à personne qualifiée.
- Les expertises réalisées à la demande de toute juridiction d'instruction ou de jugement. Il s'agit des articles 156 et suivants du code de procédure pénale. Les échantillons sont scellés et transmis accompagnés d'une Ordonnance de Commission d'Expert.
- L'alimentation du Système de Traitement Uniformisé des Produits Stupéfiants (S.T.U.P.S.®) selon la note du 16/07/2004, PN/CAB/N° 04-8585 [4], en application de l'article 2-b du décret du 3 août 1953 [5] portant création de l'Office Central pour la Répression du Trafic Illicite des Stupéfiants (O.C.R.T.I.S.) [6]. Les échantillons n'ont pas à être placés sous scellés et sont transmis, accompagnés d'une fiche de transmission. Les résultats d'analyse ne peuvent en aucun cas être utilisés dans une procédure judiciaire.

3.1.1. Echantillonnage de saisie de drogue en tant que telle ou supposée telle

Lors d'une saisie de drogue, notamment en quantité importante, il n'est pas utile de tout transmettre au laboratoire pour analyses. Un échantillonnage approprié est suffisant et même recommandé.

Les consignes d'échantillonnage décrites ici s'appliquent à un ensemble de produits saisis présentant des caractéristiques macroscopiques similaires.

Ainsi, dans le cas d'une saisie de « bonbonnes¹ » d'héroïne similaires par leur contenant mais se différenciant par la couleur de la poudre contenue à l'intérieur, l'échantillonnage effectué avant ouverture ne sera plus approprié et devra être revu.

D'autre part, ces consignes s'appliquent uniquement dans l'objectif de déterminer la proportion d'échantillons de l'ensemble initial contenant une substance stupéfiante. L'échantillonnage dans le but de déterminer la teneur moyenne en produit stupéfiant requiert un nombre de prélèvements plus important.

Deux abréviations sont utilisées par la suite :

N est le nombre d'échantillons dans la population concernée, par exemple l'ensemble présentant des caractéristiques externes communes,

n est le nombre d'échantillons prélevés

Trois protocoles d'échantillonnage sont majoritairement utilisés dans les laboratoires analysant des stupéfiants :

- Règle(s) arbitraire(s) sans fondement statistique, comme $n = vN$ ou encore $n = 1$
- Loi hypergéométrique
- Approche bayésienne

¹ Bonbonne : Nom donné au contenant en forme plus ou moins sphérique de 1 à 3 cm de diamètre, souvent en matière plastique de couleur (films, sac d'emballage ...) et servant au trafic de rue de la drogue.

3.1.1.1. Loi hypergéométrique

Cette loi d'utilisation simple est très utilisée dans les laboratoires de police scientifique.

L'hypothèse de départ est que la proportion d'échantillons « positifs », par exemple contenant un produit stupéfiant, qu'on peut représenter par $k_1 \times N$ avec k_1 variant de 0 à 1, est fixée mais inconnue, et surtout peut être calculée à partir d'une autre proportion $k_2 \times n$ (k_2 variant de 0 à 1).

En outre, un risque α doit être évalué qui correspond à l'incertitude sur la mesure de k_2 suivant les échantillons prélevés.

Le résultat de l'échantillonnage sera exprimé de la façon suivante : cette saisie comprend au moins 90% (k_1) d'échantillons « positifs » avec un risque d'erreur de 5% (α).

L'analyste doit donc faire deux choix préalables à l'échantillonnage, celui de k_1 et celui de α , et les tables de la distribution hypergéométrique lui donneront n étant donnés N et k_2 connus.

Le tableau 2 donne des valeurs de n pour $\alpha=5\%$ (risque d'erreur de 5%) et $k_2=100\%$ (tous les échantillons sont positifs).

Avec un échantillon négatif, les valeurs de n ne sont plus valables et doivent être recalculées.

N	n pour $k_1=50\%$	n pour $k_1=90\%$
10	3	8
50	4	19
100	5	23
500	5	28
10000	5	29

Tableau 2 Nombre n d'échantillons prélevés selon la loi hypergéométrique

3.1.1.2. Approche bayésienne

La loi hypergéométrique souffre d'un défaut majeur, son manque de souplesse. En effet, quand l'expert a affaire à une saisie de plaquettes de résine de cannabis, il sait d'emblée qu'il a besoin de peu d'échantillons pour confirmer le caractère stupéfiant de l'ensemble déjà sous-tendu par l'examen visuel préliminaire, à la différence d'une saisie de poudres beaucoup plus risquée. Or, la loi hypergéométrique va traiter ces deux cas de la même manière. Ainsi, pour une saisie de 100 plaquettes et un k_1 de 90%, 23 échantillons doivent être analysés ce qui peut sembler excessif.

L'approche bayésienne apporte cette souplesse en partant du principe que si la proportion d'échantillons positifs dans la population est inconnue, des indications existent sur cette proportion. En corolaire, l'élaboration nécessaire d'hypothèses préalables pour déterminer la taille de l'échantillonnage peut apparaître comme un inconvénient. Bien évidemment, suivant le type de saisie étudié, les hypothèses et donc les échantillonnages peuvent être différents. Une tentative de simplification de cette approche consiste à établir deux probabilités avant de procéder à l'échantillonnage [3] :

Une tentative de simplification de cette approche consiste en l'établissement par l'analyste de deux probabilités avant de procéder à l'échantillonnage :

- P_1 , la probabilité que tous les échantillons soient homogènes et aient le même caractère (stupéfiant ou non stupéfiant). Il s'agit donc d'évaluer a priori la chance que les échantillons soient tous positifs ou bien tous négatifs. Par exemple, pour une saisie de plaquettes présentant les mêmes dimensions et le même logo, P_1 sera très élevée (>95%).
- P_2 , la probabilité que tous les échantillons étant homogènes et ayant le même caractère, ils soient positifs. Par exemple, pour une saisie de poudres de mêmes couleurs et emballages, si P_1 est élevée, le risque qu'on ait affaire à des produits de coupage sans substance stupéfiante est élevé et donc P_2 faible (<70%).

Comme pour la loi hypergéométrique, l'analyste va ensuite choisir la valeur de k_1 qu'il souhaite atteindre et celle de α .

Pour mieux appréhender cette approche, nous allons l'appliquer à trois cas de figure pour lesquels on prendra comme précédemment $\alpha=5\%$ et $k_2=100\%$:

- Cas de plants supposés être du cannabis

Un analyste expérimenté dans le domaine des stupéfiants connaît suffisamment l'herbe de cannabis pour pouvoir déterminer avec une probabilité élevée si les plants expertisés sont de ce type. En conséquence, les deux probabilités P_1 et P_2 sont très élevées et l'échantillonnage faible.

Pour une saisie N de 10 000 plants, avec des valeurs de P_1 et P_2 de 95%, il suffit que n soit égal à 5 pour que k_1 soit 99%.

- Cas de comprimés d'ecstasy

Il est fréquent que les comprimés d'ecstasy présentant les mêmes caractéristiques macroscopiques (dimensions, couleur, logo) soient tous homogènes (P_1 élevée). Par contre, il est moins certain qu'ils soient tous positifs, par exemple stupéfiants. Toute la difficulté réside dans le choix de P_2 .

Pour une saisie de 10 000 comprimés, avec des valeurs de P_1 de 95%, de P_2 de 60%, un échantillonnage de 8 donne un k_1 de 99%.

- Cas des timbres de LSD

Il est fréquent que les timbres soient hétérogènes, par exemple certains contiennent du LSD et d'autres non. Les deux probabilités P_1 et P_2 sont donc plus faibles que précédemment. Un choix de P_1 à 70% et de P_2 à 50% n'est pas irrationnel.

Pour un N de 10 000, il faut un échantillonnage de 90 pour atteindre un k_1 de 99%, mais seulement 7 timbres pour avoir $k_1=90\%$.

On voit bien que même dans ce cas plus délicat, avec des probabilités a priori plus faibles, l'échantillonnage reste plus faible que celui obtenu par la loi hypergéométrique sans hypothèses préalables.

3.1.2. Pratiques lors de saisies dans des laboratoires clandestins

En France, plusieurs types de laboratoire clandestins sont découverts chaque année par la police :

3.1.2.1. Les laboratoires d'extraction, principalement de cocaïne

La cocaïne importée en France est souvent dissimulée dans des tissus, des liquides ou encore des plastiques. Elle ne peut pas être récupérée facilement et il est donc nécessaire de procéder par plusieurs étapes d'extraction liquide/liquide.

Le chimiste joue d'une part sur la solubilité de la cocaïne en milieu aqueux acide et sur son insolubilité quand le pH devient basique et d'autre part sur sa différence d'affinité vis-à-vis de solvants non miscibles permettant son extraction liquide/liquide.

Ainsi, si la cocaïne est dissimulée dans un soda, l'ajout d'une base comme de la soude va précipiter la cocaïne qui apparaît sous forme de poudre solide blanchâtre. L'ajout d'acétone ou d'éther, solvants non miscibles à l'eau, permet de l'extraire en laissant les impuretés dans le soda.

Le solvant est évaporé pour récupérer la cocaïne directement ou après une nouvelle étape d'extraction pour purification. Les policiers et experts qui interviennent dans ce type de laboratoire sont principalement confrontés à du petit matériel et divers réactifs dont surtout des solvants, acides et bases à saisir judicieusement et avec précaution en raison des risques d'hygiène et sécurité notamment respiratoires, oculaires et cutanés inhérents à la volatilité et la causticité de ces produits.

3.1.2.2. Les laboratoires de fabrication

3.1.3. Moyens d'analyse

Les techniques physicochimiques d'analyse utilisées pour les stupéfiants sont les techniques chromatographiques et des techniques spectrométriques (voir chapitres 5 et 6).

Les tendances les plus récentes optent pour la miniaturisation des systèmes chromatographique afin de gagner en vitesse et en coûts (Fast GC² ; UPLC³) et l'identification fait appel le plus souvent aux outils puissants que sont les spectrométries infrarouge et de masse et leurs bibliothèques spectrales commerciales enrichies par celles établies pour les substances inconnues par l'expert et échangeables entre laboratoires notamment par le réseau européen des laboratoires de criminalistique (European Network of Forensic Science Institutes)..

L'infrarouge (*voir fiches techniques*) est en particulier utile dans deux cas de figure :

- La distinction des formes chimiques base et chlorhydrate.
- La caractérisation des produits de coupage et des excipients (microcellulose, amidon, etc.) altérables en chromatographie gazeuse.

Le couplage chromatographie en phase gazeuse – spectrométrie de masse (CPG-SM *voir chapitre 5 et fiches techniques*) résout la plupart des problèmes d'identification de substances inconnues notamment lors d'analyse de traces sur divers supports, par exemple des billets de banque. La distinction entre des coupures d'usage courant (souvent contaminées par des traces de stupéfiants) et des billets mis en contact direct avec des produits de trafic impose une quantification qui révèle alors des teneurs très supérieures.

Deux autres techniques se développent : le couplage à plasma induit par haute fréquence – spectrométrie de masse (ICP-MS *voir chapitre 5 et fiches techniques*) et la Spectrométrie de masse des Rapports isotopique (IRMS).

L'ICP-MS (*voir chapitre 5 et fiches techniques*) a des applications lors de l'identification des nombreux éléments minéraux et en particulier des catalyseurs (Pt, Pd, Ni, etc.) utilisés au cours des étapes d'extraction, de synthèse, de purification, de cristallisation, etc.) des drogues et lors des analyses de comparaison (§2-4). Ces éléments traces constituent en effet des profils quasi spécifiques utilisables pour déterminer si deux échantillons sont issus d'un même lot de fabrication.

L'IRMS (*voir encadré page suivante*) en mesurant les rapports d'isotopes stables d'éléments légers (C, H, O, N, S) qui varient suivant l'origine d'une molécule donnée permet la distinction entre substances naturelles et de synthèse, voire pour ces dernières, de différencier les méthodes de synthèse.

² La « Fast GC » opère avec des colonnes capillaires de 10 m et de 0.1mm de diamètre, des fours soutenant des rampes de hautes températures et des détecteurs à hautes fréquences d'acquisition.

³ L'UPLC recourt à des colonnes de dimensions réduites et des pompes à faible débit.

Spectrométrie de masse des Rapports isotopique (IRMS)

PRINCIPE DE L'IRMS



IRMS



Un élément apparaît naturellement sous plusieurs formes de masses sensiblement différentes, des isotopes. Lorsqu'ils ne présentent pas de radioactivité décelable, ces isotopes sont dits stables. Le Spectromètre de Masse de Rapport Isotopique (IRMS en anglais) permet de caractériser des échantillons via leur ratio d'isotopes stables, c'est-à-dire, pour un élément donné, le rapport entre la quantité d'isotope lourd qu'il contient, et la quantité d'isotope léger. Ainsi, on mesure couramment en IRMS les ratios $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ et $^2\text{H}/^1\text{H}$, mais aussi ceux d'éléments tels que le soufre ou des halogènes.

Les échantillons doivent parvenir au spectromètre sous la forme de gaz élémentaires : CO_2 , N_2 , CO , H_2 .

Il est dès lors nécessaire d'avoir en amont un système qui convertisse des échantillons sous forme solide, liquide ou gazeuse en gaz élémentaires.

L'analyseur élémentaire ou le chromatographe en phase gazeuse couplé à un module de combustion remplissent cette fonction à travers des étapes successives de conversion thermiques, oxydation, réduction, séparation chromatographiques et piégeage.

Dans l'IRMS, les gaz élémentaires sont d'abord ionisés dans la source. Le flux d'ions traverse ensuite un analyseur magnétique qui permet de séparer les espèces chargées de masses très légèrement différentes. Les faisceaux d'ions sont collectés dans des détecteurs calibrés de sorte à ne recevoir que des ions d'une masse donnée. Le signal est ensuite converti en données traitées par l'ordinateur qui exprime des grandeurs de rapports isotopiques selon une convention internationale en ‰.

3.2. Analyses compositionnelles

3.2.1. Analyse qualitative

Un échantillon de drogue est composé schématiquement d'un principe actif majoritaire, qui donne le nom générique de la drogue, de produits de coupage et d'impuretés organiques et inorganiques accumulées tout au long de la vie de l'échantillon.

La première étape d'analyse de l'expert est la recherche dans des saisies, de la présence de substances réglementées classées stupéfiants. Au cours de cette opération, certains produits de coupage et impuretés sont également identifiés.

Un réseau international de laboratoires spécialisés dans l'analyse des stupéfiants, le SWGDRUG (www.swgdrug.org) publie des recommandations pour identifier les principes actifs illicites. Il classe les techniques à mettre en œuvre en trois catégories suivant leurs performances : la catégorie A comprenant entre autres, la spectrométrie de masse et la spectroscopie infrarouge, la catégorie B rassemblant les techniques chromatographiques en phase gazeuse et en phase liquide et la catégorie C regroupant les tests colorés et la spectroscopie ultraviolette.

Pour identifier un produit stupéfiant deux procédures sont possibles :

- Une technique A est disponible auquel cas il suffit de l'associer à une autre technique (A, B ou C)
- Une technique A n'est pas disponible auquel cas il faut deux techniques B associées à une autre (B ou C).

Lors de cette étape, il est aussi important d'identifier la forme chimique du principe actif majoritaire : base, chlorhydrate, sulfate, etc. Cela peut être réalisé par des tests colorés ou de solubilité, voire par spectrométrie infrarouge. La forme chimique permet d'informer sur la méthode de fabrication et sur le mode de consommation.

3.2.2. Analyse quantitative

L'analyse quantitative détermine le pourcentage en masse du principe actif dans l'échantillon saisi, généralement appelé improprement pureté (c'est dans cette acception que le terme est utilisé dans la suite du texte). Deux objectifs principaux sont visés lors de cette étape :

3.2.2.1. Détecter les puretés élevées, ou haut dosages

Les laboratoires spécialisés dans l'analyse des stupéfiants ont un rôle d'alerte sanitaire. Ils doivent avertir l'Observatoire Français des Drogues et Toxicomanies (OFDT) quand des échantillons présentant des puretés élevées sont saisis, notamment pour l'héroïne et les drogues de synthèse. Cette alerte est ensuite relayée à tout service intervenant auprès des toxicomanes.

3.2.2.2. Situer la saisie dans son réseau de distribution

Pour certaines drogues, comme la cocaïne, la pureté décroît au fur et à mesure que l'échantillon s'éloigne de son lieu de fabrication. Il est donc possible de déduire à partir de la pureté d'une saisie si celle-ci est plutôt représentative de l'importation ou de la consommation (niveau de rue).

3.3. Les analyses de comparaison

3.3.1. Concept

Comme indiqué précédemment, origines des drogues, complexité et variété des processus de fabrication qui à chaque étape ajoutent des impuretés organiques ou inorganiques aux principes actifs majoritaires aboutissent à un mélange de composition complexe qui constituent une sorte d'empreinte chimique caractéristique de l'échantillon expertisé.

Pour l'héroïne par exemple, le point de départ est le pavot à opium qui contient de nombreux alcaloïdes regroupés en trois grandes familles : les composés phénanthréniques (morphine, codéine, thébaïne, etc.), les dérivés quinoléiques (noscapine, papavérine, narcéine, etc.) et les protopines (cryptopine, protopine). Les pourcentages dans la plante en chacun des alcaloïdes sont principalement liés aux conditions de culture et à la maturité du plant lors de l'extraction de l'opium. Lors des étapes de purification de l'opium brut, de l'extraction de la morphine puis de sa synthèse en héroïne, certains de ces alcaloïdes vont être partiellement

ou complètement transformés, les proportions initiales modifiées, et donc les compositions finales très différentes de celles de l'opium original.

Au final, la composition chimique d'un échantillon d'héroïne se révèle caractéristique de son histoire : origine géographique et conditions de culture du pavot, méthode d'extraction de la morphine, purifications éventuelles, conditions de synthèse de l'héroïne. Cette **véritable empreinte chimique** (profil) sert de base aux comparaisons. Son obtention associée au processus de comparaisons constitue le **profilage chimique** tel que le définit le Réseau Européen des Instituts de Criminalistique (ENFSI) : « le profilage chimique consiste à analyser des saisies de drogues par des méthodes permettant l'obtention de caractéristiques chimiques singulières dans le but de comparaisons à visées opérationnelles et judiciaires ».

Le profilage chimique comprend trois étapes :

- 1. développement d'une méthode d'analyse permettant l'obtention d'un profil caractéristique,
- 2. sélection et analyse de populations d'échantillons de référence
- 3. exploitation statistique des résultats, choix des critères de comparaison et détermination des risques d'erreur

3.3.2. Développement de la méthode d'analyse

Le panel de techniques permettant de caractériser chimiquement un échantillon de drogue est très vaste. La plus citée pour le profilage de la cocaïne, de l'héroïne ou des STA (amphétamine, méthamphétamine, MDMA) est la chromatographie gazeuse couplée ou non à la spectrométrie de masse. Elle rend possible l'identification et la quantification de teneurs infimes de composés organiques au sein de fortes proportions de principes actifs stupéfiants. L'empreinte chimique est alors un profil chromatographique.

Cependant, plus globalement, le choix des molécules ciblées par la méthode d'analyse se fait en déterminant a priori l'information recherchée, cette dernière étant de trois types :

3.3.2.1. La détermination du lieu de fabrication du produit

Il faut déterminer l'origine géographique des saisies pour les drogues naturelles et le laboratoire clandestin de production pour les drogues de synthèse. Il est alors plus logique de cibler le principe actif lui-même et d'essayer de mettre en évidence des différences dues à son origine. On procède par spectrométrie de masse isotopique (IRMS) qui, particulièrement adaptée à cet objectif, peut renseigner à la fois sur le principe actif stupéfiant, sur l'environnement et les conditions de production.

3.3.2.2. La détermination des conditions de fabrication du produit

Le maximum d'informations sur les étapes de la fabrication du stupéfiant doit être rassemblé, ce qui permet de cibler : les précurseurs de synthèse des drogues, les alcaloïdes minoritaires co-extraits avec le principe actif majoritaire de la plante, les impuretés de synthèse (sous-produits ou coproduits), les solvants, les catalyseurs, etc. Aucune méthode n'est adaptée à l'analyse simultanée de toutes ces substances, les experts choisissent un groupe significatif pour remonter à un type d'information. Ainsi, pour la cocaïne, une méthode de profilage fréquemment utilisée vise l'analyse des solvants résiduels de fabrication par la technique de « l'espace de tête statique » (Static Head-Space) couplée à la chromatographie gazeuse.

3.3.2.3. La détermination de liens entre saisies ou rapprochements

Contrairement aux précédents, l'objectif est de vérifier si un échantillon saisi dans telle ville est le même que celui saisi dans telle autre. On ne cible donc pas le producteur mais l'importateur ou le distributeur.

La méthode européenne de profilage de l'amphétamine par exemple, requiert l'extraction d'impuretés organiques mineures et leur analyse par GC/MS (European Harmonised Method for the Profiling of Amphetamine). Les profils obtenus servent à lier des échantillons saisis dans différents pays entre eux et à identifier des réseaux internationaux.

3.3.3. Exploitation statistique

Pour être exploitable, le profil obtenu pour un échantillon doit être disséqué. Plusieurs étapes de prétraitement mathématique de normalisation et standardisation lui sont appliquées pour rendre les données comparables entre elles et ainsi s'affranchir des contraintes matérielles (type d'instrument) et de la pureté de l'échantillon (coupage), ou encore réduire l'influence d'impuretés prédominantes dans le profil.

Il faut ensuite utiliser un autre outil mathématique de comparaison. Deux types d'outils sont disponibles : la « distance euclidienne » et les méthodes de corrélation comme le « coefficient de Pearson ».

3.3.4. Choix des populations de référence

Les choix du prétraitement mathématique et de l'outil de comparaison imposent à l'expert de sélectionner des échantillons de référence pour créer deux populations visant l'une l'évaluation de la dispersion de la méthode de profilage, l'autre son pouvoir discriminatoire. Plus sa dispersion est faible, et plus son pouvoir discriminatoire est élevé, plus la méthode est performante.

Les échantillons de référence sont sélectionnés et analysés selon l'information attendue du profilage. S'il s'agit de déterminer l'origine géographique des saisies, la première population d'échantillons est focalisée sur ceux ayant la même origine. La variation des résultats obtenus après traitements mathématiques, caractérise la dispersion de la méthode de profilage. La deuxième population est choisie parmi des échantillons d'origines différentes afin d'évaluer le pouvoir discriminatoire. La présentation des résultats se fait le plus fréquemment sous forme d'histogrammes.

Cette opération doit être réalisée pour chaque prétraitement et traitement afin de déterminer lesquels sont les plus performants.

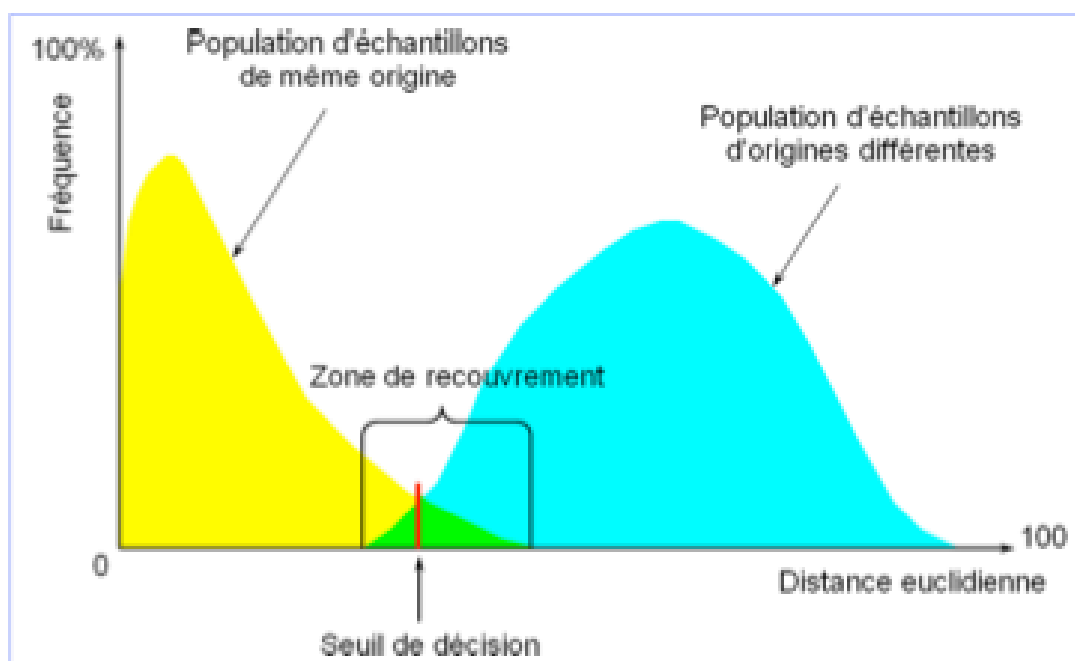


Figure 17 établissement du seuil de décision d'identité de deux populations d'échantillons

Le seuil qui permet de conclure quant à l'identité ou la différence de deux échantillons donnés est généralement choisi au point d'intersection des deux populations (figure 17).

3.3.5. Bases de données

La création des bases de données permet de globaliser les rapprochements réalisés par l'outil de comparaison : réévaluer les risques d'erreur après une période donnée, dégager des tendances de profils d'échantillons, opérer des rapprochements sur de longues durées ou entre plusieurs laboratoires.

Ainsi, le système européen de profilage des drogues (European Drug Profiling System) comprend une base de données de profils d'amphétamine alimentée par plus de 10 laboratoires européens.

La base française STUPS© (Système de Traitement Uniformisé des Produits Stupéfiants) créée par l'Institut National de Police Scientifique rassemble des données qualitatives et quantitatives sur les saisies analysées par tous les laboratoires de police scientifique depuis plus de 20 ans. Cet outil est indispensable au suivi des produits stupéfiants circulant en France en matière de composition, de pureté, et de rapprochements entre saisies.

4. Conclusion

L'expert est aujourd'hui en mesure d'analyser et identifier n'importe quelle drogue en dépit de leur extrême diversité grâce à des moyens chromatographiques (UPLC, Fast GC) et spectrométriques de plus en plus performants rendus encore plus efficaces par une prise en charge raisonnée de l'échantillonnage. Enfin le profilage chimique est une approche nouvelle qui permet de tracer la drogue avec précision de sa production à l'utilisateur.

5. bibliographie

1) World drug report 2008. United Nations Office on Drugs and Crime

http://www.unodc.org/documents/wdr/WDR_2008/WDR_2008_eng_web.pdf

2) Coulson S.A, Coxon A, Buckleton J.S. « How many samples from a drug seizure need to be analyzed ? », Journal of Forensic Science 2001: 46 (6) 1456-1461.

3) Articles 54, 56 et 60, ou 76 et 77-1, ou 81 et 151 du code de procédure pénale

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006071154>

Article 54

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=993A4D47F819B33C9B727E862D515543.tpdjo02v_1?idArticle=LEGIARTI000022470069&cidTexte=LEGITEXT000006071154&dateTexte=20141224

Article 56

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=993A4D47F819B33C9B727E862D515543.tpdjo02v_1?idArticle=LEGIARTI000024967362&cidTexte=LEGITEXT000006071154&dateTexte=20141224

Article 60

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=993A4D47F819B33C9B727E862D515543.tpdjo02v_1?idArticle=LEGIARTI000006575047&cidTexte=LEGITEXT000006071154&dateTexte=20141224

Article 81

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=993A4D47F819B33C9B727E862D515543.tpdjo02v_1?idArticle=LEGIARTI000025585631&cidTexte=LEGITEXT000006071154&dateTexte=20141224

Article 151

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=993A4D47F819B33C9B727E862D515543.tpdjo02v_1?idArticle=LEGIARTI000006575360&cidTexte=LEGITEXT000006071154&dateTexte=20141224

4) Note de la Direction Générale de la Police Nationale du 16/07/2004, PN/CAB/N° 04-8585 (annexe 1), concernant l'alimentation du Système de Traitement Uniformisé des Produits Stupéfiants (S.T.U.P.S.®)

http://zarawoh.free.fr/doc%20opj/OPJ_%5B05%5D_GUIDE_DE_PROCEDURE/documents/46763.pdf

5) Article 2-b du décret du 3 août 1953 portant création de l'OCRTIS

http://pmb.ofdt.fr/pmb_documents/LEGI/1036.pdf

6) OCRTIS organisation, missions

<http://www.police-nationale.interieur.gouv.fr/Organisation/Direction-Centrale-de-la-Police-Judiciaire/Lutte-contre-la-criminalite-organisee/Office-Central-pour-la-Repression-du-Trafic-Illicite-des-Stupefiant>

Chapitre 8. Les empreintes digitales

C. Champod, N. Egli

1. Introduction

La discipline qui traite de la révélation et de la comparaison à des fins d'identification des impressions digitales est appelée la *dactyloscopie*. Plus généralement, le terme *lophoscopie* désigne la détection, comparaison et classification de toute impression de surface papillaire [1]. L'exploitation des traces papillaires en sciences forensiques est un moyen majeur visant à l'identification de personnes, soit lorsque leur identité n'est pas établie, soit à partir des traces laissées par des inconnus en association avec des activités délictueuses. Dans cette introduction nous définirons et caractériserons les dessins papillaires, puis nous présenterons un bref historique qui permettra de replacer dans le contexte international la contribution des chercheurs français en la matière. Les cadres généraux de l'exploitation des empreintes et traces papillaires seront ensuite spécifiés. Ceux-ci sont larges et confèrent aux surfaces papillaires une importance toute particulière dans les sciences forensiques, notamment grâce à la possibilité de remonter à un donneur potentiel d'une trace (et par extension à son identité) grâce aux traces laissées par les surfaces nues des mains. Les techniques de détection des traces papillaires seront alors présentées. Finalement le processus d'identification sera expliqué en détaillant le protocole ACE-V, les standards adoptés pour la phase décisionnelle du processus ainsi que les biais et erreurs potentiels en la matière. Nous concluons ce chapitre avec quelques considérations relatives à la preuve dactyloscopique (ou plus généralement lophoscopique) devant les tribunaux.

Les surfaces papillaires, soit les surfaces digitales (précisément les phalanges distales des doigts), les paumes, les plantes des pieds et les orteils sont couverts de crêtes papillaires. La fonction biologique de cette peau papillaire n'est pas entièrement élucidée, mais il est suggéré qu'elle permette d'augmenter la friction, garantissant ainsi une meilleure adhésion, et que, contrairement à une peau lisse, elle augmente également la sensibilité mécanique de ces surfaces aux pressions, mouvements et vibrations.

Le flux général des crêtes forme différents dessins qui peuvent être catégorisés sur la surface des doigts notamment en arcs, boucles et verticilles. Ces dessins généraux s'articulent autour de points de référence : le ou les *centres*, et le ou les *deltas*. Un arc n'a pas de delta, tandis qu'une boucle en possède un (par exemple, sur le côté gauche pour une impression d'une boucle à droite) et un verticille en présente deux. Lorsqu'il y a plus de deux deltas, ce qui est plus rare, le dessin général est qualifié de *composite*, car il ne se laisse pas classer facilement dans l'une des trois classes évoquées plus haut. Ces différents dessins généraux ne présentent pas la même fréquence d'apparition dans la population. Celles-ci varient en fonction de l'origine ethnique, mais généralement on compte environ 60% de boucles, 30% de verticilles et 5% d'arcs, les 5% restants étant associés à des dessins plus complexes.

En regardant ces dessins de plus près, au niveau des crêtes, d'autres caractéristiques peuvent être distinguées. On parle de *bifurcations* lorsqu'une crête se divise ou alternativement d'*arrêts de ligne* lorsqu'une crête s'interrompt. Par ailleurs, la crête peut être suffisamment limitée en longueur pour n'être qu'un *point*. Ces événements sont appelés *minuties* dans ce chapitre, mais d'autres dénominations sont courantes comme : *points de Galton*, *points caractéristiques* ou simplement *points*. L'arrêt de ligne, la bifurcation et le point constituent les trois types de base ; ces types peuvent également apparaître en combinaison lorsque deux minuties proches sont liées entre elle par une crête papillaire. Parmi ces combinaisons, des lacs (deux bifurcations opposées se joignant), les îlots (deux arrêts de ligne opposés) et les crochets (un arrêt de ligne combiné avec une bifurcation) peuvent notamment être distingués. La terminologie de ces minuties com-

binées n'est pas standardisée, ni forcément la distance maximale entre les deux minuties pour être considérées comme combinées. L'étude de la fréquence d'apparition des différents types de minuties montre la rareté différenciée entre des minuties simples comme les arrêts de ligne et les bifurcations par opposition aux minuties combinées et plus complexes [2].

À un niveau de détail encore plus fin, les crêtes portent, sur leur sommet, des *pores*. La fonction de ces derniers est de permettre la sécrétion des humeurs produites par les glandes eccrines qui se situent en profondeur dans le derme. Les pores varient dans leur forme et leurs positions relatives le long de la crête. Les bords des crêtes aussi sont irréguliers, et présentent des formations qui peuvent être discriminées. D'autres caractéristiques sont observables. Les plis, qui peuvent être permanents en particulier lorsqu'ils se trouvent dans une zone de flexion, possèdent parfois des caractéristiques spatiales particulières. De même, des traumatismes au niveau de la peau comme des verrues, des cloques ou des cicatrices, peuvent être visibles.

Les caractéristiques décrites ci-dessus sont souvent classifiées en trois niveaux (figures 1a et 1b) : le niveau 1 fait référence au flux général des crêtes, le niveau 2 aux déviations principales dans le chemin des crêtes (typiquement les minuties, les plis ou les cicatrices) et le niveau 3, aux détails des crêtes (la forme des pores et des bords de crêtes).

Le terme « *empreinte digitale* » désigne des impressions qui ont été laissées délibérément par la surface papillaire du doigt ; de même, une empreinte palmaire est une impression délibérée de la paume de la main. Le terme « *empreinte* » désigne donc des impressions de contrôle obtenues dans des conditions aussi standardisées que possible, avec la collaboration de la personne présentant la surface papillaire. Ces empreintes sont obtenues soit en utilisant de l'encre soit en utilisant une méthode optique (essentiellement un scanner digital communément appelé *livescan* [4]).

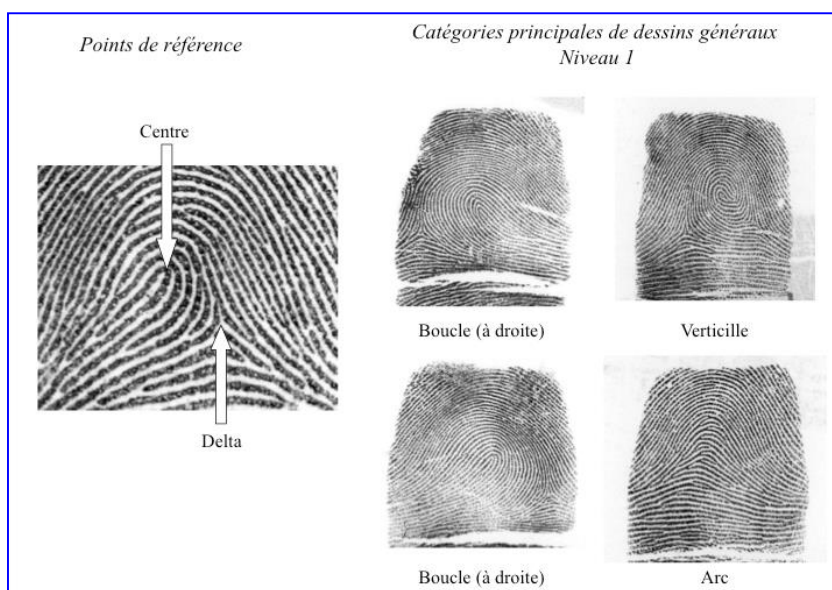


Figure 1a : illustration des points de référence (centre et delta) et niveau caractéristique 1. (Figures traduites publiées originalement dans [3]).

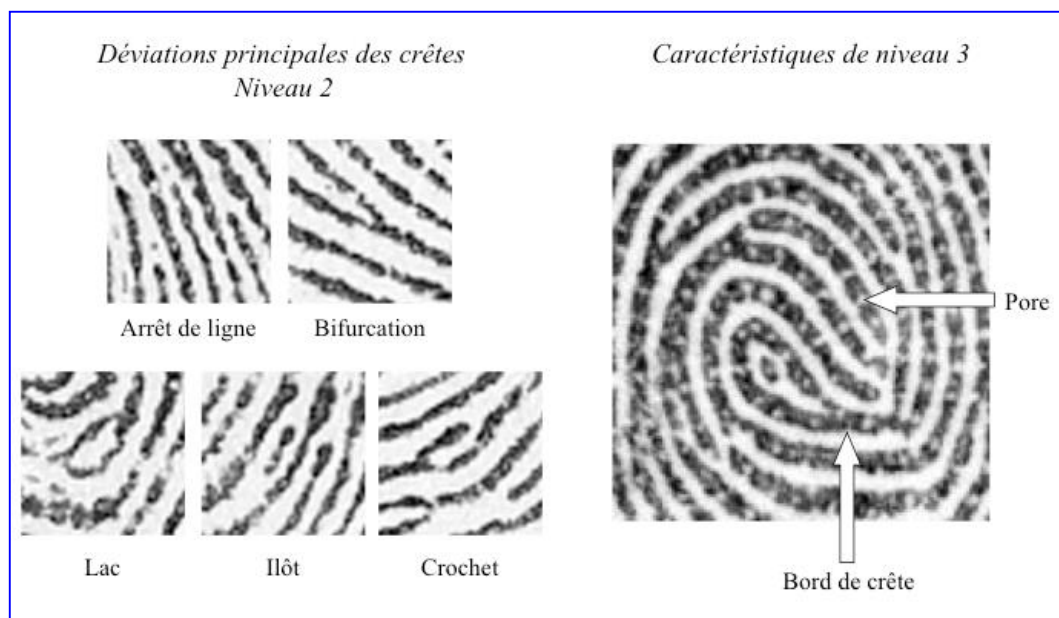


Figure 1b : illustration des niveaux caractéristiques 2 et 3.
(Figures traduites publiées originalement dans [3]).

L'utilisation de telles méthodes est préconisée parce qu'elles permettent d'obtenir des impressions complètes et nettes, qui peuvent être considérées comme étant des représentations presque parfaites de la surface de la peau. Pour acquérir des empreintes de référence aussi complètes que possible, les doigts sont *roulés* afin que les impressions représentent l'ensemble de l'information papillaire disponible. Pour vérifier le positionnement anatomique des empreintes ainsi obtenues, il est courant de compléter la fiche dactyloscopique avec des empreintes *apposées* où l'ensemble des doigts est apposé conjointement à plat. La fiche est complétée par les empreintes palmaires. La prise d'impressions des phalangettes, des bords des paumes et des sommets des doigts sont réservées à des cas particuliers et ne constitue pas l'enregistrement signalétique de routine.

La surface papillaire peut aussi venir en contact direct avec une surface et laisser une impression (visible ou latente). Ces impressions sont appelées des *traces*. Le terme de trace peut être qualifié par un adjectif (trace digitale, trace palmaire) lorsqu'une correspondance avec un type de surface papillaire a été établie par les caractéristiques générales de la trace (sa taille, par exemple). Sinon, le terme *trace* désigne une impression d'une zone papillaire quelconque. A part les cas où les surfaces sont contaminées par un fluide étranger (comme du sang), les traces sont constituées de résidus de sécrétions à la surface des crêtes, généralement un mélange complexe constitué d'une émulsion des humeurs des glandes eccrines et sébacées. La surface papillaire agit ici comme un tampon déposant des composés provenant de la transpiration. Les traces sont généralement laissées de manière non délibérée, lors du contact de la peau de la main ou des pieds avec une surface. Ces traces, ayant été laissées involontairement, sont généralement *partielles*, c'est-à-dire qu'elles ne reproduisent pas l'entièreté de la surface papillaire qui les a laissées. De surcroît, leur qualité est souvent moindre que celle des empreintes. Sur une trace, le dessin général ne peut pas toujours être déterminé du fait de leur partialité, le nombre de caractéristiques de niveau 2 est souvent bien inférieur à celui présent sur une empreinte encrée et les détails de niveau 3 ne sont souvent pas reproduits en raison du manque de clarté des traces (qui peut toucher une partie ou l'entièreté de la trace). Le contact dont résulte une trace peut être bref, limitant ainsi la quantité de résidu qui est transférée. Cela entraîne des différences visibles entre trace et empreinte : la trace peut être fragmentaire, avec des interruptions du flux des crêtes ; elle peut avoir subi des distorsions selon la pression appliquée au moment du contact. Il arrive également que plusieurs traces (du même doigt ou de doigts différents) soient superposées. Finalement, il convient de rappeler que les traces sont souvent *latentes*, c'est-à-dire non visibles à l'œil nu. Elles nécessitent, pour être visualisées, la mise en œuvre de techniques optiques, physiques ou chimiques de détection. Ces techniques seront abordées dans une prochaine section.

Le terme de *qualité* d'une trace est employé pour qualifier dans quelle mesure les caractéristiques observées sur une impression (que ce soit une trace ou une empreinte) représentent de manière fidèle celles de la

surface papillaire à son origine. Une impression sera dite de bonne qualité lorsqu'elle représente fidèlement les caractéristiques morphologiques de la surface papillaire à son origine. Il est attendu que les empreintes soient de bonne qualité lorsqu'elles sont prises dans de bonnes conditions, alors que les traces, laissées dans des conditions moins contrôlées, sont d'une qualité plus variable et imprédictible (figures 2a, 2b et 2c).

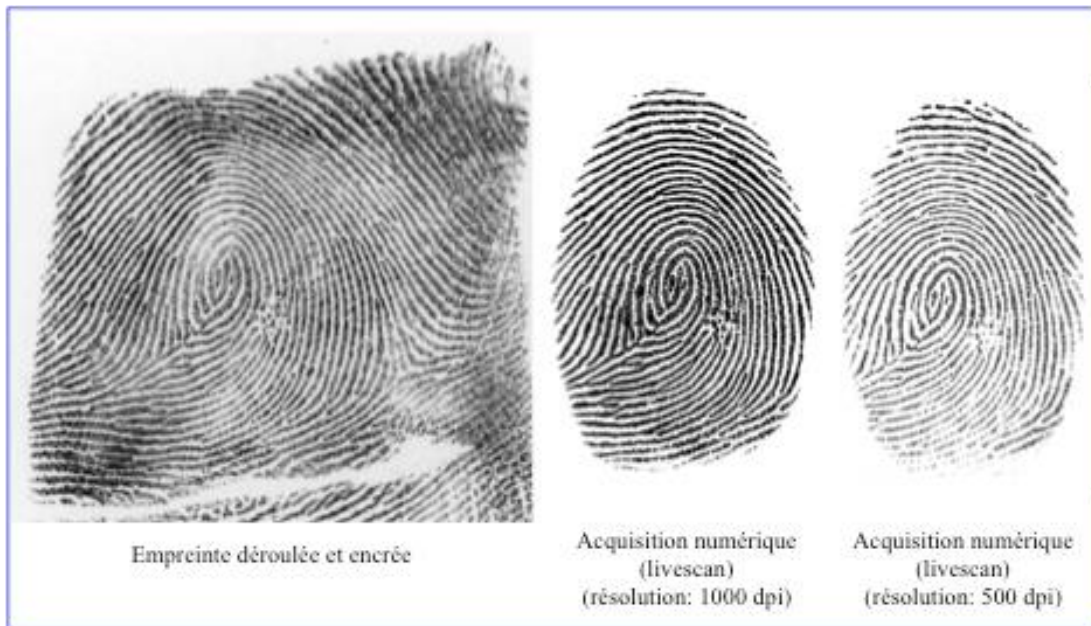


Figure 2a : Illustration de la variabilité en terme de qualité des empreintes en fonction de la méthode d'acquisition (Figures traduites publiées originalement dans [3]).

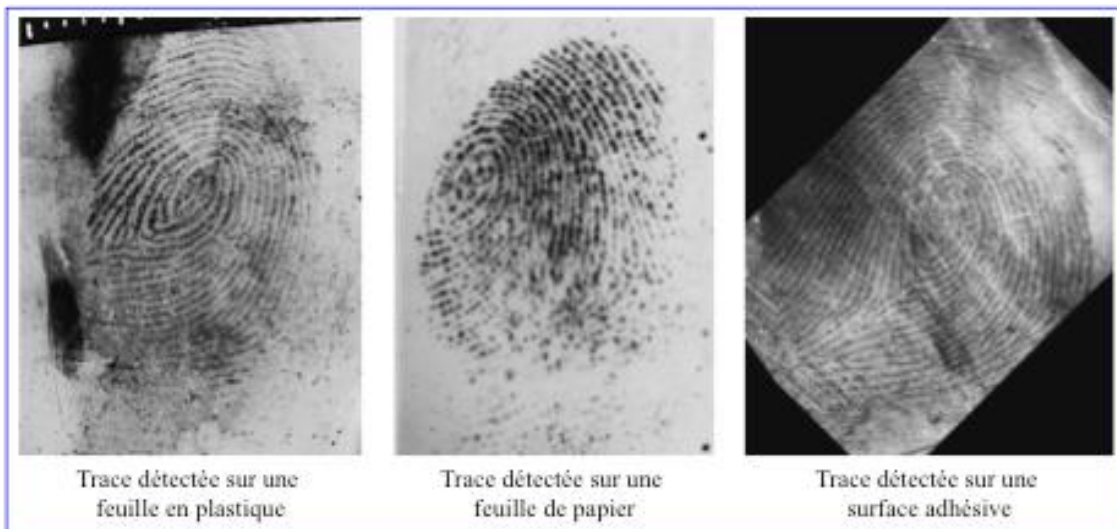


Figure 2b : Illustration de la variabilité en terme de qualité des traces en fonction de la déposition et de la méthode de révélation obtenues à partir d'un même doigt. (Figures traduites publiées originalement dans [3]).

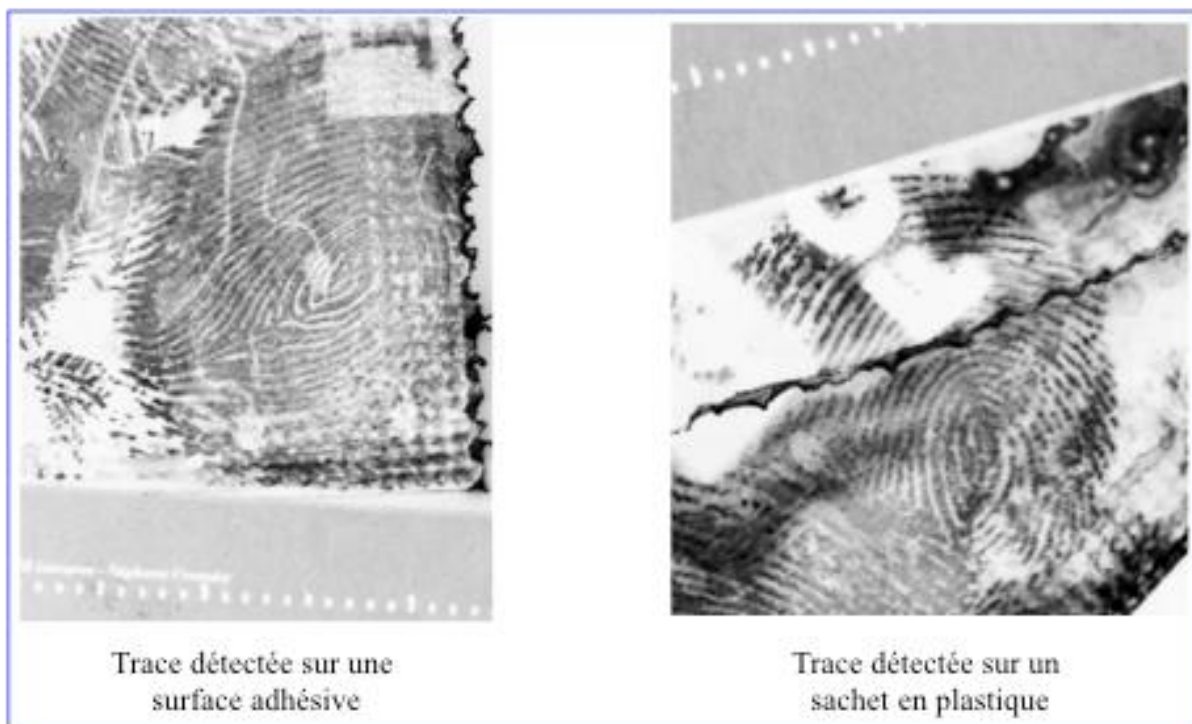


Figure 2c : Illustration de la variabilité en terme de qualité des traces en fonction de la déposition et de la méthode de révélation obtenues à partir d'un même doigt (Figures traduites publiées originalement dans [3]).

2. Bref aperçu historique

Historiquement, le recours aux empreintes digitales dans un contexte judiciaire s'insère dans deux champs d'application distincts mais complémentaires. En premier lieu, une utilisation en tant que biométrie, à des fins d'identification des personnes arrêtées, en particulier pour savoir si ces individus ont déjà été arrêtés précédemment. Suivant l'abolition, en France, du marquage des criminels en 1832, il n'y avait plus de moyen évident pour établir si une personne donnée avait été condamnée préalablement. Aucun système de classement ne permettait de retrouver le nom d'une personne à partir de ses attributs physiques. Il manquait cruellement une méthode qui permette d'identifier un récidiviste arrêté, d'arrêter un récidiviste poursuivi, et de classer logiquement et de retrouver facilement la fiche d'un individu donné (sans en connaître le nom au préalable). Au tournant du 20^{ème} siècle, c'est dans ce premier champ d'application que seront d'abord utilisées les empreintes digitales en complément puis en remplacement de l'anthropométrie de Bertillon qui avait pris son essor dès 1880. La dactyloscopie sera utilisée ensuite dans un deuxième cadre, à savoir l'attribution à des individus, et à des fins d'investigation, de traces papillaires relevées en association avec des infractions.

En France, un système d'identification des récidivistes était déjà en place à la fin du 19^{ème} siècle (5), soit l'anthropométrie (ou par extension *le Bertillonage*), que le parisien Bertillon propose dès 1879. Ce système, utilisé pour la première fois en 1883, invitait à l'élaboration d'un fichier systématique des personnes arrêtées en cataloguant des mesures précises de parties du corps humain (par exemple, longueur de l'index, longueur du bras, circonférence de la tête) pour identifier les récidivistes. Il se fondait sur trois principes : 1) la stabilité des longueurs osseuses une fois l'âge adulte atteint ; 2) la variabilité de ces mesures entre personnes et 3) la possibilité de les acquérir avec une précision raisonnable. Au final, Bertillon proposait d'utiliser onze mensurations précises ainsi qu'une classification de la couleur de l'iris afin de constituer une fiche dite *anthropométrique* pour chacune des personnes arrêtées. Pour compléter les mesures anthropométriques, Bertillon avait également introduit la photographie signalétique (de face et de profil), la description des marques particulières (tatouage notamment) et le *portrait parlé*, soit une description standardisée des caractéristiques du visage afin de faciliter la transmission de signalement et la reconnaissance par les enquêteurs. Une méthode de classification à partir des mesures anthropométriques a alors été développée afin de

permettre une organisation structurée des fiches établies. La mise en œuvre systématique d'un tel système à des fins d'identification des récidivistes constituait le *Bertillonage* qui s'imposa rapidement au niveau mondial.

Ce système permit de gérer les problèmes d'identification avec beaucoup de succès, mais à mesure que les bases de données constituées de ces mensurations ont augmenté en taille, les limites du système sont devenues de plus en plus évidentes. Ces limitations étaient 1) une distribution inégale des mesures dans la population ; 2) des corrélations entre les différentes mesures prises ; 3) des variations entre les opérateurs qui n'étaient pas toujours suffisamment formés, ou qui n'avaient pas du matériel de mesure (très coûteux) d'une qualité suffisante ou qui prenaient ces mesures sur des sujets non-coopératifs et 4) l'absence de traces anthropométriques pouvant être relevées sur les scènes d'infraction.

L'étude scientifique des dessins papillaires débute avec Nehemiah Grew, qui, en 1684, décrit les lignes papillaires et les pores de façon détaillée et en publie les dessins précis. Puis, en 1686, Marcello Malpighi achève une thèse développant les fonctions des surfaces papillaires. Il faut attendre 1788, pour qu'un allemand, M. Mayer, suggère la possibilité de discriminer des individus sur la base de leurs empreintes. En 1823, J. E. Purkinje publie une thèse dans laquelle il classifie les dessins digitaux en 9 catégories suivant leur dessin général [6]. C'est finalement H. Welcker qui, étudiant les crêtes papillaires, prend une impression de sa propre paume en 1856, reprend la même empreinte en 1897, puis publie la figure de ces deux impressions démontrant ainsi la pérennité du dessin digital [7]. C'est un français Coulier qui en 1863 suggère la possibilité d'exploiter des traces latentes détectées à l'aide de vapeur d'iode sur des documents falsifiés afin d'en identifier les auteurs [8]. Tous ces travaux ont constitué des développements préalables indispensables à l'utilisation des empreintes papillaires en sciences forensiques.

L'apport de quatre scientifiques britanniques a été déterminant dans le développement opérationnel de la dactyloscopie, à savoir Henry Faulds, William Herschel, Francis Galton et Edward Henry, dont les contributions sont d'ailleurs traitées dans plusieurs articles récents [9 ; 10 ; 11]. La présente section en tire largement profit. Herschel propose, en 1877, dans sa 'lettre de Hooghly', l'utilisation des empreintes digitales à des fins d'identification des récidivistes en Inde. A l'origine, l'utilisation des empreintes avait cours en Inde dans des procédures de paiement de pensions, la question étant alors de savoir si la personne qui se présentait était bien l'ayant droit (et si cet ayant droit était encore vivant). Cette pratique avait été reconnue au moins depuis 1857 (et était aussi largement utilisée en Chine). Herschel avait également procédé à la vérification de la permanence des dessins papillaires sur ses propres doigts, de façon empirique. Faulds, alors missionnaire au Japon, indique, suite à l'examen de trace papillaire en relief sur d'anciennes poteries, la possibilité d'identifier des personnes à partir des traces qu'elles auraient laissées sur des objets en lien avec une infraction. Lui aussi avait, comme Herschel, enregistré des empreintes encrées, et, dans une lettre envoyée à *Nature* en 1880, suggéra que les empreintes digitales pouvaient être utilisées pour identifier des criminels. Herschel rétorqua qu'il avait été le premier à découvrir l'utilité des empreintes digitales à des fins d'identification. S'ensuivit alors une dispute qui dura jusqu'au milieu du 20^{ème} siècle. En 1880 également, Faulds écrivait à Charles Darwin pour lui faire part de ses recherches sur les empreintes. Ce dernier a transmis cette lettre à son cousin, Francis Galton, qui était fasciné par les dessins digitaux et évaluait cette nouvelle technique comparativement à l'anthropométrie. La façon dont Galton acquerrait les empreintes encrées - c'est-à-dire sous forme roulée, mais aussi des impressions à plat, simultanées afin de pouvoir vérifier la séquence des doigts – est celle utilisée, aujourd'hui encore, sur les fiches décadactylaires. La contribution principale de Francis Galton réside dans la conception du premier système de classification des fiches décadactylaires en 1891. Il a créé un système basé sur trois classes principales : les arcs, les boucles et les verticilles, tout en subdivisant les boucles en boucles « internes » et « externes ». Ce système de classification était toutefois moins performant que celui établi pour les mesures anthropométriques ; il y avait, en effet, des classes dans lesquelles beaucoup de fiches étaient regroupées. Henry entreprit d'affiner cette classification avec deux de ses assistants, Azizul Haque et Chandra Bose. Ils ont ajouté à la classification grossière de Galton, des décomptes de crêtes (entre le centre et le delta) et le traçage des crêtes sur les verticilles, ainsi qu'une nouvelle classe, les «composites». Ce système fut introduit en 1895 au Bengal. Mais c'est un système alternatif, établi en Argentine par Juan Vucetich, qui est le premier système utilisé de façon opérationnelle, et ce dès 1891. Vucetich, chargé d'introduire un système anthropométrique en Argentine est alerté par un compte rendu des travaux de Galton [12]. Il est immédiatement convaincu de la

supériorité de la dactyloscopie sur l'anthropométrie et développe un système simplifié de classification [13] qui sera adopté par la majorité des pays d'Amérique du Sud.

L'utilisation des traces dans une procédure d'identification est, quant à elle, pour la première fois effectuée aux alentours de 1856 par John Maloy à Albany, dans l'Etat de New York. Puis, en 1870, Faulds élucide un mystère au laboratoire. En 1892 Vucetich aide à la résolution d'un homicide dans le village de Necochea en Argentine en identifiant une trace relevée lors du meurtre de deux enfants avec leur mère Francisca Rojas, comme étant à la source d'une trace sanglante et disculpant l'individu Velasquez désigné comme suspect principal. Ces trois identifications utilisaient des traces laissées dans du sang, donc visibles. La littérature romantique se prendra rapidement au jeu puisque la possibilité de relier une trace à une empreinte encrée est déjà évoquée, en 1883, dans l'ouvrage de Mark Twain *Life on the Mississippi* qui intègre une identification forensique à partir d'une trace sanglante.

La première identification forensique en Europe est effectuée en 1902, par Bertillon, dans l'affaire Scheffer à Paris sur la base de traces détectées à l'aide d'une poudre, la céruse [14]. De retour au laboratoire, Bertillon recherche les traces parmi le fichier anthropométrique et identifie Scheffer comme étant le donneur des traces. Il s'agit-là à notre connaissance du premier cas où un fichier systématique permet la détection d'un auteur potentiel. Sur les fiches anthropométriques parisiennes figuraient en effet aussi des empreintes encrées, mais la classification s'effectuait sur la base des mesures, une approche que Bertillon défendait.

Dès 1901, l'usage de l'anthropométrie décline à la faveur de la dactyloscopie d'abord dans les pays sous influence britannique et hispanique [13] puis graduellement à l'ensemble des pays. La thèse d'Yvert marque en France le début du déclin de l'anthropométrie à la faveur de la dactyloscopie comme moyen d'identification [15]. Locard en sera aussi un fervent défenseur [16]. Il faudra attendre la mort de Bertillon en 1914 pour voir l'abandon définitif de l'anthropométrie.

Au cours du 20^{ème} siècle, des progrès importants sont réalisés, premièrement au niveau de la détection des traces latentes. Ces progrès élargissent le champ d'application de la recherche de traces, dès lors que de plus en plus de types de surfaces différents peuvent être traités. D'autre part, des méthodes de plus en plus sensibles sont découvertes. La mise en séquence de différentes méthodes de détection permet d'augmenter encore la sensibilité de la détection, tout comme l'utilisation de lampes puissantes, de techniques optiques et de lumières filtrées. Comme le précise Forgeot [17], c'est en 1877 qu'Aubert propose le nitrate d'argent, tandis que l'usage des vapeurs d'iode était déjà proposé par Coulier. La poudre, soit la méthode la plus traditionnelle pour la détection des traces latentes, est mise en œuvre dès l'abord du 20^{ème} siècle par la majorité des criminalistes. La ninhydrine, qui réagit avec les acides aminés contenues dans les sécrétions eccrines, et découverte par Ruhemann en 1910, est appliquée en sciences forensiques à partir de 1954. D'autres méthodes, reposant sur les propriétés chimiques ou physico-chimiques des traces papillaires, apparaissent ensuite (la publication de Goode et Morris faisant date [18]). La recherche de nouvelles méthodes de développement de traces papillaires plus sensibles et sélectives se poursuit encore aujourd'hui [19].

L'autre progrès majeur du 20^{ème} siècle en matière de dactyloscopie est le développement des systèmes automatisés d'identification d'empreintes digitales (*Automated Fingerprint Identification Systems*, AFIS). À partir des années 80, et profitant des progrès en matière d'informatique (possibilités de stockage et de traitement de données), des banques de données dotées d'algorithmes de recherche sont développées. Jusqu'alors, des modifications basées sur le système de classification de Galton-Henry permettaient de rechercher des traces dans des fichiers, ces recherches étaient toutefois très coûteuses en temps. Puis, le système pour doigts uniques de Battley améliora les possibilités de rechercher le donneur potentiel d'une trace en introduisant un système de classification pour des empreintes encrées uniques et pour des traces.

La première indication du développement de systèmes automatisés est une patente, déposée en 1956 (20). Puis, en 1963, une publication de Trauring [21] évoque la possibilité d'automatiser l'extraction et la comparaison des caractéristiques, mais seulement au niveau de la vérification et non dans la recherche d'identité (comparaison d'une trace à un grand nombre d'empreintes). En 1969, la police fédérale des Etats-Unis (le FBI, *Federal Bureau of Investigation*) était convaincue qu'il devait être possible de faire des recherches d'une empreinte dans une banque de données (recherche 1 : n), et avait mandaté une entreprise pour chercher

un moyen d'automatiser la recherche basée sur les minuties. Simultanément, des recherches avaient débuté en Angleterre, en France et au Japon ; dans ces trois pays, l'intérêt portait également sur la recherche de traces. Ces recherches étaient déjà fastidieuses ; la base de données d'empreintes encrées du FBI incluait, par exemple, 16 millions de fiches. C'est la gendarmerie royale du Canada qui, en 1978, installe le premier système automatisé (après un système semi-automatisé avec des cartes perforées) [22]. Toutefois il faut attendre les années 1980 pour que les systèmes automatiques deviennent réellement opérationnels dans les pays européens et asiatiques, mais aussi dans plusieurs villes, régions et Etats des Etats-Unis. Le système du FBI, fichier national des Etats-Unis, est créé dans les années 1990 ; en 1995, la première communication externe de ce système est établie avec la police de Boston. Il est opérationnel en 1999 et en 2005, il comptait 46 millions de fiches individuelles [23]. Ce système national nécessitait un certain nombre de standardisations. Puisque différents systèmes avaient été introduits à travers les Etats-Unis, de façon indépendante, ils ne provenaient pas du même fournisseur et les données n'étaient pas compatibles. Afin de pouvoir assurer l'échange de données, un nouveau format de celles-ci a donc été créé. Ce format n'est pas seulement utilisé au niveau national aux Etats-Unis, mais permet aussi l'échange de données au niveau international.

En France, la banque de données centrale est nommée FAED (Fichier Automatisé des Empreintes Digitales). Ce fichier est placé sous l'autorité de la Direction centrale de la police judiciaire du Ministère de l'intérieur. Il n'est accessible qu'aux fonctionnaires du service d'identité judiciaire du Ministère de l'intérieur et des unités de recherche de la gendarmerie. Il est toutefois prévu d'élargir cet accès à l'ensemble des services locaux d'identité judiciaire. Le fichier contenait, au 1er octobre 2008, 2 998 523 individus et 171 801 traces non identifiées (CNIL : FAED : Fichier automatisé des empreintes digitales, www.cnil.fr/en-savoir-plus/fichiers-en-fiche/fichier/article//fichier-automatise-des-empreintes-digitales/).

3. Les cadres d'utilisation des empreintes papillaires dans l'investigation

Trois types de comparaisons entre impressions papillaires peuvent être envisagés :

<p>Empreintes à empreintes (souvent appelé TP-TP de l'anglais « <i>tenprint</i> » pour fiche décadactylaire)</p>	<p>La comparaison d'une fiche décadactylaire d'une personne dont on ne connaît pas l'identité (vivante ou décédée) à une banque de données d'empreintes encrées d'individus connus, à des fins d'identification.</p>
<p>Trace à empreintes et empreintes à traces (appelé aussi LP-TP ou TP-LP, pour « <i>latent print – tenprint</i> »)</p>	<p>La comparaison de traces de source inconnue à une banque de données d'empreintes papillaires de source connue, à des fins d'identification du donneur de la trace. La démarche inverse, la comparaison empreintes - traces, est un contrôle effectué lors de l'introduction d'une nouvelle fiche décadactylaire ; celle-ci est comparée aux traces de source inconnue également stockées dans la banque de données.</p>
<p>Trace à traces</p>	<p>La comparaison d'une trace, de source inconnue, à une banque de données de traces, elles aussi de source inconnue. Ici, le but est de savoir si les mêmes traces sont relevées lors de différentes infractions, afin de mettre en évidence d'éventuelles séries. Du fait de la nature partielle des traces, les chances de retrouver la même partie de surface papillaire dans deux traces distinctes, ou un recoupement suffisamment important pour permettre d'établir un lien entre deux traces sont restreintes, d'où une utilisation peu fréquente de ce type de recherches.</p>

Puisque les deux premiers modes de recherche sont utilisés bien plus souvent que le dernier, les prochains paragraphes traiteront uniquement des comparaisons *entre empreintes*, et des comparaisons *traces-empreintes*.

3.1. La comparaison entre empreintes

Les lois en vigueur relatives aux conditions d'acquisition des empreintes de contrôle (et d'autres mesures signalétiques, y compris le prélèvement d'un échantillon ADN) diffèrent entre pays. Pour cette comparaison empreintes-empreintes, le cadre légal en France est fixé par l'art. 78-3 du Code de procédure pénale : la prise d'empreintes de contrôle est autorisée lorsque la personne refuse de divulguer son identité ou se trouve dans l'impossibilité de justifier son identité, ou lorsqu'elle fournit des documents d'identité manifestement inexacts. L'entrée dans le fichier informatique est, quant à elle, réglée par le décret n 87-249, article 3. De façon générale, les empreintes digitales sont enlevées du fichier centralisé après 25 ans en France et l'individu dont les empreintes ont été entrées dans le fichier peut également demander qu'elles en soient retirées s'il n'a pas été déclaré coupable d'une infraction. La radiation n'est pas automatique.

Dans le cadre d'une comparaison entre empreintes de contrôle, la majorité des opérations sont faites par l'intermédiaire du fichier informatisé. Le recours à un fichier dactyloscopique (classé selon les techniques de Vucetich ou de Galton-Henry) manuel est rare de nos jours. Les empreintes faisant l'objet du contrôle sont insérées dans le fichier informatisé, codifiées, puis recherchées par juxtaposition aux empreintes préalablement stockées en banque de données. Le système propose alors une liste de candidats ayant montré un rapprochement possible selon des critères purement algorithmiques basés sur les minuties. A la lumière de cette liste restreinte, un spécialiste-dactyloscope contrôle manuellement, selon un processus décrit ci-après, si l'une des fiches proposées correspond effectivement aux empreintes soumises.

Les empreintes recherchées de cette façon sont acquises soit par numérisation de fiches encrées, soit directement par *livescan*. En particulier, pour le contrôle d'identité, des capteurs *livescans* portables permettent l'acquisition et l'envoi (par un réseau sécurisé) des images dans la banque de données immédiatement depuis le site d'acquisition (une patrouille, une ambassade ou un poste de frontière). La performance des systèmes automatisés dans ce mode d'utilisation est aujourd'hui excellente, à tel point que des mécanismes de fonctionnement sans intervention humaine sont actuellement envisagés. Cela constituerait une évolution qui permettrait d'accélérer encore plus ce processus.

Pour l'acquisition des empreintes, quelle que soit la méthode choisie, l'opérateur doit être formé afin d'obtenir du matériel de référence de bonne qualité. Il est en effet fréquent que certaines parties manquent sur du matériel de contrôle, en particulier la pointe des doigts ou le centre de la paume. Aussi, lorsque les doigts sont roulés, il peut y avoir des glissements qui obscurcissent une partie de la surface papillaire. En effet, la plupart des erreurs qui peuvent survenir (mais qui demeurent rares) ne sont pas nécessairement dues à la sensibilité et la sélectivité de l'algorithme de recherche ou à la maintenance de la base de données, mais plutôt à du matériel de comparaison de qualité insuffisante, des empreintes attribuées à la mauvaise personne ou l'acquisition en double d'un seul et même doigt. L'acquisition numérique a par ailleurs permis de mettre en place des mécanismes de contrôle de la qualité et de l'intégrité des fiches dactyloscopiques acquises.

3.2. La comparaison trace-empreintes (ou empreinte-traces)

Les traces relevées dans le contexte d'une infraction (ou plus généralement tout événement soumis à enquête) peuvent être comparées manuellement aux empreintes d'un nombre restreint d'individus (les personnes désignées au cours de l'enquête) ou, de façon automatisée, au fichier centralisé d'empreintes digitales. Dans la comparaison empreinte-traces, les empreintes encrées d'un individu (suspect ou prévenu, selon les législations) sont prises. Puis, ces empreintes encrées sont comparées aux traces du fichier des traces associées aux infractions non-résolues.

La recherche manuelle parmi un ensemble restreint de fiches dactyloscopiques est devenue beaucoup moins fréquente avec l'utilisation des systèmes automatisés, et l'augmentation de leur fiabilité. Dans tous les cas, le système fournit une liste (de traces ou d'empreintes) qui sont ensuite comparées manuellement, l'identification n'étant jamais effectuée automatiquement (contrairement à ce que l'acronyme *AFIS* pourrait laisser penser). En effet, les systèmes automatisés ne prennent aucune décision quant à l'identification, celle-ci revient toujours à un spécialiste. Ces comparaisons sont souvent effectuées à la loupe (ou sous un agrandisseur analogique ou numérique) sur la base d'impressions en taille réelle de la trace et de l'empreinte.

La sensibilité et la spécificité des systèmes automatisés sont diminuées lorsqu'il s'agit de recherches impliquant une trace plutôt que de recherches empreintes-empreintes. Cela résulte de la qualité des traces, largement inférieure à celle des empreintes. En effet, les traces étant partielles, présentant un contraste plus faible et pouvant comporter des parties peu nettes, glissées ou superposées, l'information à disposition à des fins de recherche est largement réduite par rapport aux empreintes. Consécutivement la codification des caractéristiques visibles sur la trace est faite, au moins en partie, manuellement, l'extraction automatique dans un tel contexte n'étant pas optimale.

Cela étant, avant que les traces puissent être photographiées et insérées dans un fichier, elles doivent, la plupart du temps, être détectées par une méthode ou une séquence de méthodes permettant de les visualiser.

4. Méthodes de détection des traces papillaires

4.1. Type de traces

Les traces découvertes dans le cadre d'une enquête peuvent être soit *patentes*, c'est-à-dire visibles à l'œil nu, soit *latentes*, par le dépôt d'une matière qui n'est pas immédiatement visible telle que les humeurs naturelles déposées sur les surfaces papillaires. De surcroît, les traces peuvent être positives (laissées par un dépôt de matière) ou négatives, par enlèvement de matière. Elles peuvent également être déposées dans des substances variées telles que la poussière, la peinture ou le sang. Les traces découvertes dans les investigations criminelles étant souvent latentes, beaucoup de recherches sur la révélation de telles traces ont été effectuées. En Angleterre, le *Home Office Scientific Development Branch* réalise des études sur les meilleures techniques à appliquer tenant compte de la spécificité du cas. Des universités s'impliquent également dans la recherche de nouvelles méthodes (ou l'amélioration des méthodes déjà existantes), tout comme certains services de l'appareil de sécurité intérieure (par exemple, la Gendarmerie royale du Canada, l'Institut de recherche criminelle de la Gendarmerie nationale en France, le Secret Service aux Etats-Unis).

Les traces latentes se composent généralement du résidu des humeurs sécrétées et transférées, comme par un tampon, par les crêtes de la surface du doigt. Ce résidu contient surtout de l'eau, des protéines, des acides aminés, des acides gras, des sels inorganiques, du cholestérol et du squalène. L'importance relative de ces substances varie d'une personne à l'autre, mais également chez une même personne. La quantité de résidu varie également, et ce en fonction d'un grand nombre de variables, notamment : le régime alimentaire, l'âge, le sexe, et la condition physique du donneur, ainsi que les conditions qui précèdent le dépôt (par exemple : mains lavées plus ou moins récemment, port de gants, température extérieure). Cette variation au niveau de la quantité, mais également de la qualité du dépôt, implique que les techniques de détection doivent montrer une certaine robustesse. Par ailleurs, le résidu se modifie avec l'exposition à l'air, à la chaleur, à la lumière, et de plus vieillit. Ainsi, l'efficacité de certaines méthodes de détection varie-t-elle en fonction du temps, à tel point qu'il existe des méthodes qui ne révéleront que des traces relativement fraîches.

4.2. Choix technique

Les réactifs à appliquer dans un cas donné sont choisis en fonction du support où se trouve la trace (poreux, tel le papier, ou non-poreux, tel le verre, voire semi-poreux, comme du papier avec un traitement de surface), des circonstances du cas (si les traces potentielles ont été en contact avec de l'eau, seules des méthodes

déTECTANT des résidus non-solubles sont employées), de la possibilité de transporter de l'objet au laboratoire ou non, et de l'effet destructeur que pourrait avoir, sur le support, une méthode de détection donnée.

La sélection d'une méthode dans un cas donné est décidée en fonction de l'efficacité des différentes méthodes, mais des critères plus pragmatiques rentrent aussi en ligne de compte. Ces critères sont la disponibilité de l'appareillage et des réactifs, le temps nécessaire pour l'application de la méthode et les impératifs de sécurité. Des séquences de méthodes ont également été testées et optimisées, cette utilisation de plusieurs méthodes en séquence afin de maximiser les chances de révéler des traces doit être encouragée plutôt que l'emploi d'une seule et unique méthode de détection.

Sur les surfaces poreuses, des traces peuvent être révélées après des décennies, puisque le résidu est absorbé dans la surface et ainsi fixé. Les traces se trouvant sur des surfaces non-poreuses peuvent par contre être effacées par simple frottement ; le temps pendant lequel des traces utilisables peuvent être révélées est donc influencé par la manipulation de l'objet sur lequel se trouvent ces traces.

De façon générale, les méthodes de détection sont de nature optique, chimique ou physique ; elles sont détaillées dans l'ouvrage de Champod *et al* [24]. Les progrès de ces techniques sont passés en revue de façon complète tous les trois ans pour le Symposium de sciences forensiques d'Interpol [19 ; 25].

4.3. Les méthodes optiques

Les méthodes optiques, qui sont toujours appliquées avant et après tout traitement, profitent de l'interaction entre la lumière et la matière pour produire un contraste entre le fond et la trace d'intérêt. La plupart de ces méthodes optiques n'ont aucun effet négatif sur l'objet (la surface, les traces papillaires et les autres types de traces qui pourraient être présentes), et d'autres méthodes de détection peuvent être appliquées après ces examens. Une exception est à mentionner dans le cas du rayonnement ultraviolet qui peut dégrader l'ADN éventuellement présent sur un objet. Différentes conditions d'illumination sont utilisées, à savoir la réflexion, la réflexion diffuse, le fond noir, ou l'épiscopie coaxiale, et des observations sont faites dans des conditions permettant de visualiser une éventuelle absorption sélective ou luminescence. Les méthodes optiques sont primordiales dans le processus de détection, que ce soit avant ou après un traitement physique ou chimique. Finalement, l'enregistrement photographique et la documentation de tout résultat doivent permettre au minimum de situer la trace sur l'objet, sa relation avec d'autres traces, et d'obtenir une photographie de près de la trace avec une résolution suffisante pour remplir les critères de qualité définis dans l'introduction. Chaque image doit comporter une réglette (ou un autre moyen de définir avec précision la taille de l'objet photographié). Il est en effet primordial de définir avec précision la taille de la trace présentée, afin de pouvoir procéder à des comparaisons avec des empreintes au même grossissement. Les algorithmes automatisés, par exemple, ne trouveront pas de correspondance avec une trace qui est agrandie deux fois dans une banque de données où toutes les images sont enregistrées en taille réelle.

4.4. Les méthodes physiques

En ce qui concerne la détection physique, la méthode la plus ancienne et la plus courante est le saupoudrage. Alors qu'au début, il s'agissait de poudres souvent préparées par les soins de l'utilisateur final, elles sont maintenant disponibles commercialement. Ces poudres présentent une très grande diversité, et il existe également différents applicateurs. Les types de poudres vont de la poudre composée simplement de particules d'aluminium à des poudres luminescentes et des poudres magnétiques. Les poudres ont généralement tendance à adhérer aux composants gras de la trace. Elles sont plutôt utilisées sur des surfaces non-poreuses, ont une sensibilité limitée comparativement à certaines techniques applicables au laboratoire, mais ont le grand avantage d'être d'une grande simplicité d'emploi. En particulier sur les lieux, la poudre est une méthode très fréquemment appliquée, et les traces ainsi révélées peuvent (après photographie *in situ*) être prélevées avec des feuilles gélatine ou des adhésifs spécialement conçus. Parmi les méthodes physiques se trouve également la déposition métallique sous vide. Des métaux (de l'or puis du zinc) sont évaporés dans

un vide poussé. Ces métaux ont alors tendance à se condenser différemment sur les traces papillaires et sur le substrat, créant ainsi un contraste entre la trace et le fond.

4.5. Les méthodes chimiques

La plus grande et diversifiée des classes de méthodes est celle des méthodes chimiques. Ces réactifs utilisent, dans des réactions spécifiques, les composés présents dans les résidus qui constituent la trace. La ninhydrine ou la 1,9-diaza-9-fluorénone (DFO) réagissent avec les acides aminés pour former un composé pourpre (le pourpre de Ruhemann) ou un composé luminescent, tandis que le 1,2-indanedione forme un composé à la fois rose clair et luminescent. Ce sont les trois méthodes de choix pour la détection de traces formées par un dépôt contenant des acides aminés (c'est-à-dire qui n'ont pas été mouillées) sur les surfaces poreuses. En termes de sensibilité l'avantage va actuellement au 1,2-indanedione qui surpasse les résultats obtenus avec une combinaison DFO-ninhydrine. Si une séquence de détection est appliquée, ces méthodes

peuvent être suivies d'une méthode mettant en jeu une réaction avec des composés gras, par exemple le révélateur physique qui consiste en une déposition d'argent en solution avec un système d'oxydoréduction. En ce qui concerne les surfaces non poreuses, la méthode de choix est la fumigation au cyanoacrylate (colle rapide). Les vapeurs de colle se polymérisent préférentiellement sur les résidus de la trace en produisant des crêtes blanches portant ce polymère. De surcroît, le polymère peut réagir avec des colorants de diverses natures, la plupart du temps luminescents. De cette façon, le contraste entre les traces révélées au cyanoacrylate et le support est augmenté. Il existe également des méthodes spécifiques pour les surfaces adhésives, les traces laissées dans le sang ou des surfaces particulières telles que les papiers thermiques, le polystyrène expansé ou le bois. Les réactifs pour les traces sanglantes utilisent les propriétés particulières du sang, spécifiquement du groupe hème des globules rouges (figure 3).

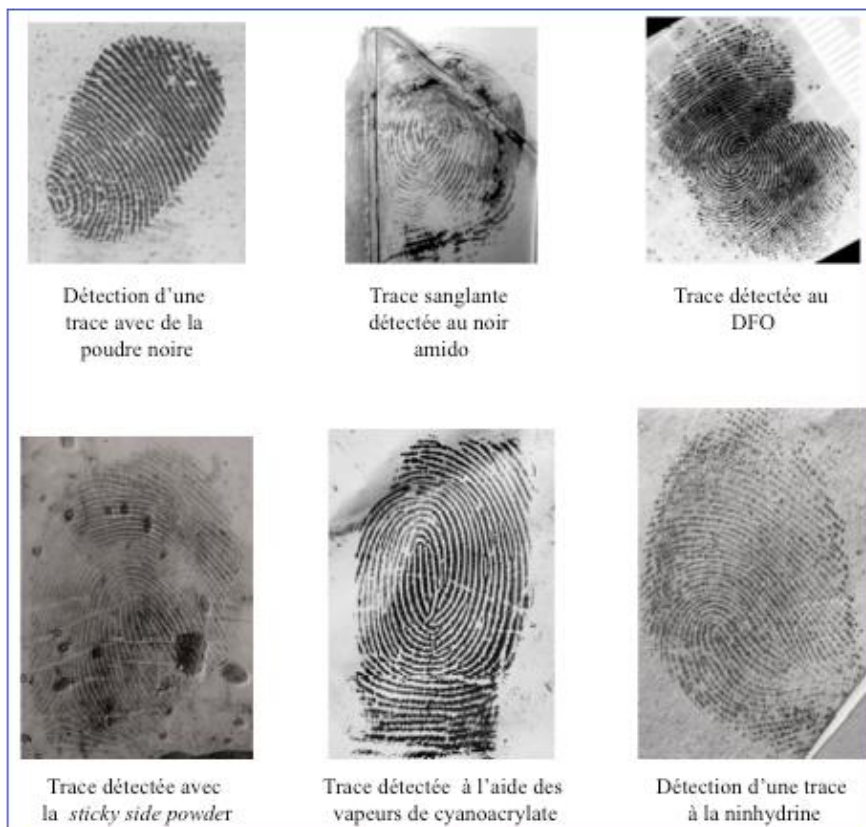


Figure 3 : Illustration des traces révélées par différentes méthodes de détection (Figures traduites publiées originellement dans Champod C and Chamberlain, P. (2009) [3].

L'imagerie numérique est de plus en plus utilisée dans le domaine des sciences forensiques en général, et dans le cadre des empreintes papillaires en particulier. Les systèmes d'imagerie numérique permettent l'utilisation d'un large éventail d'outils à la capture et surtout au niveau du traitement de l'image. Un des risques souvent évoqué dans ce domaine est la possibilité de modifier les images numériques avec une facilité accrue par rapport au support argentique traditionnel. Il est recommandé de documenter chaque étape de traitement et de conserver l'image originale, « brute » dans un format de négatif digital (potentiellement tatoué numériquement afin d'en assurer la traçabilité). La documentation doit donc permettre de reconstituer toutes les étapes de traitement jusqu'à la production de l'image de sortie [26 ; 27].

5. Le processus d'identification

5.1. Propriétés fondamentales

L'identification se base sur les propriétés suivantes des dessins papillaires.

5.1.1. Variabilité

Les empreintes papillaires montrent une très grande variabilité. Cette prémisse est souvent formulée en invoquant l'unicité des dessins papillaires. Il va de soi que l'unicité est indémontrable. La grande variabilité des empreintes papillaires est la conséquence d'un processus de formation des empreintes dans lequel interviennent à la fois des processus génétiques (au niveau du dessin général) et des processus épigénétiques à forte composante aléatoire liés à l'environnement intra-utérin. D'autre part, cette variabilité se confirme à chaque étude empirique portant sur le pouvoir discriminatoire des empreintes papillaires. Ce pouvoir discriminatoire extrêmement élevé s'exprime dans la capacité du spécialiste à distinguer entre des arrangements qui proviennent de sources différentes (en combinant des observations du général au particulier tirant profit des trois niveaux de caractéristiques) et ceux émanant de même source.

5.1.2. Permanence

Les empreintes papillaires sont présentes et enregistrables chez la très grande majorité des individus. Elles sont permanentes en ce sens que les arrangements papillaires obtenus sur des impressions (traces ou empreintes) demeurent constants dans le temps. La permanence est assurée par un renouvellement cellulaire constant de la couche basale du derme, portant le dessin papillaire original vers l'épiderme. La formation des crêtes au niveau du derme a lieu durant entre la 10^{ème} et 25^{ème} semaine du développement fœtal. A partir de ce moment et ce jusqu'à la décomposition des tissus après la mort, le dessin papillaire est fixé, à l'exception de changements de taille dus à la croissance. Seule des cicatrices profondes (atteignant le derme) peuvent altérer ce dessin générique ; autrement, les crêtes papillaires épidermiques se reforment selon le dessin original situé au niveau du derme [28]. Cela signifie donc que les configurations papillaires offrent un potentiel d'association qui ne dépend pas (ou très peu) du temps. Cette reproductibilité temporelle est un atout majeur de cette technique d'identification.

Ces deux propriétés fondamentales, la variabilité et la permanence, associées aux possibilités de classification, expliquent que les empreintes papillaires aient été pendant très longtemps considérées comme la meilleure méthode d'identification. Seul l'avènement de l'utilisation de l'ADN à des fins d'identification a permis de trouver une méthode atteignant une qualité similaire à celle des empreintes papillaires.

5.2. Le protocole utilisé pour effectuer des comparaisons : ACE-V

La plupart des spécialistes utilisent le protocole dit ACE-V, ou un protocole comparable, pour effectuer des comparaisons papillaires [29]. Le protocole ACE-V décrit simplement le processus dans lequel une *Analyse* précède une *Comparaison*, suite à laquelle les caractéristiques comparées sont *Évaluées*, processus qui est alors répété par un deuxième spécialiste (*Vérification*). Toutefois, dans la pratique, ces différentes étapes ne sont pas nécessairement aussi clairement séparées que ce que suggère l'énoncé. Les différentes étapes sont détaillées, dans les paragraphes suivants, pour des comparaisons entre traces et empreintes, mais elles sont identiques pour des comparaisons entre empreintes (même si, dans ce deuxième cadre, le manque de clarté ou la présence de fortes distorsions devraient généralement être moindres, et donc l'importance de l'analyse également).

5.2.1. Phase d'analyse

Lors de l'*analyse*, le spécialiste s'intéresse à la trace, sans se référer aux empreintes encrées auxquelles la trace sera comparée par la suite. Il s'agit essentiellement d'une phase d'acquisition de données sur la base de stigmates laissés en tant que trace. Durant cette étape, les caractéristiques (de niveau 1, 2 ou 3) visibles sur la trace sont repérées en leur associant un degré de fiabilité. Il s'agit également de déterminer la qualité de la trace dans sa globalité, de déterminer la présence d'effets dus au transfert d'une surface courbe et malléable sur une autre surface (distorsions) ou dus aux différents traitements. Tous ces facteurs permettent d'établir des tolérances pour les caractéristiques relevées, soit le degré de confiance que le spécialiste peut avoir par rapport à chacune des caractéristiques. Par degré de confiance il est fait ici référence aux attentes (hautes ou faibles) de retrouver les caractéristiques observées sur la trace sur l'empreinte de référence lui correspondant lorsque celle-ci serait soumise. La tolérance tient compte des incertitudes quant au placement exact d'une caractéristique, son type ou sa forme exacte. De l'incertitude peut également être manifeste quant à la présence même d'une caractéristique, si par exemple elle se trouve dans une région de la trace où la visibilité des crêtes est très mauvaise. Cette phase d'analyse et ses résultats doivent être documentés, afin que l'on puisse faire état à qui de droit des caractéristiques relevées et des fiabilités obtenues uniquement durant cette première phase sans référence aucune à l'empreinte. La phase d'analyse ne concerne toutefois pas uniquement la trace, mais aussi l'empreinte. Souvent, dans le cas des empreintes encrées, l'analyse se limite à vérifier la bonne qualité de la saisie ; une analyse plus conséquente ne devient nécessaire que lorsque le matériel de comparaison n'est pas de bonne qualité. Une fois l'analyse terminée, le spécialiste prend une décision quant à la possibilité de comparer la trace à des empreintes de référence. Pour une recherche dans un système AFIS (en France le FAED), il est courant de privilégier les traces présentant au moins huit minuties pour une recherche efficace, alors que pour la comparaison à un nombre restreint de fiches décadactylaires, il n'existe pas de limite en terme de nombre de minuties déterminant les possibilités d'exploitation. A partir du moment où une trace offre un potentiel d'exclusion face à des empreintes de référence, celle-ci devient de facto exploitable. À l'issue de l'analyse, il est aussi déterminé si la trace serait *identifiée* dans le cas où une empreinte (de qualité suffisante et montrant la région reproduite sur la trace) de la même source était disponible.

5.2.2. Phase de comparaison

Lors de la phase de *comparaison*, les caractéristiques relevées sur la trace en phase d'analyse sont recherchées sur l'empreinte de référence. Cette empreinte peut donc soit être issue d'une recherche AFIS, soit provenir d'un ensemble de fiches restreint. Toutes les caractéristiques décrites dans l'introduction devraient être comparées, c'est-à-dire les caractéristiques de niveau 1, 2 et 3. Dans ce cadre, il convient d'adopter une démarche allant du général au particulier, démarche commune à l'ensemble des sciences forensiques. Ce sont toujours les caractéristiques de la trace qui sont recherchées sur l'empreinte, et non l'inverse. Le processus où les caractéristiques de l'empreinte sont recherchées sur la trace souffre d'un risque évident de biais. Les biais découlent directement des qualités différentes de la trace et de l'empreinte : dans le premier cas, on dispose le plus souvent d'une image souvent mal contrastée qui se prête à l'interprétation, alors que, dans le deuxième, les caractéristiques sont de façon générale très nettes. Ainsi, le spécialiste pourrait-il être influencé par les caractéristiques relevées sur l'impression nette, et en déduire sa présence dans une zone floue de la trace (alors que ces caractéristiques ne sont pas visibles au seul examen de la trace). Au minimum, les caractéristiques trouvées lors d'un processus allant de l'empreinte à la trace devraient être documentées séparément. En revanche, des différences doivent être activement recherchées, c'est-à-dire qu'il doit être déterminé si des caractéristiques visibles sur l'empreinte, et qui devraient donc l'être également sur la trace (au vu de la région reproduite et de sa netteté), ne le sont pas.

Lorsque le processus de comparaison est effectué du général au particulier, une comparaison des arrangements de crêtes (niveau 2) n'est effectuée que si le flux général des crêtes correspond. A ce stade, il est conseillé de suivre les crêtes et les vallées entièrement, plutôt que de comparer uniquement les points fixes que sont les minuties. La comparaison des crêtes et des vallées inclut la comparaison non seulement de leurs directions (et des changements de direction le cas échéant), mais aussi de la longueur, de la séquence,

et parfois de l'épaisseur des crêtes. Finalement, une fois que des arrangements de crêtes concordants (ou plutôt compatibles au vu de la tolérance fixée lors de l'analyse) ont été identifiés, les pores et bords de crêtes éventuellement visibles sur la trace sont comparés. L'étape de comparaison est essentiellement factuelle et devrait à nouveau s'accompagner d'une documentation permettant de savoir quelles caractéristiques ont été trouvées en concordance et lesquelles ont été déterminées comme étant différentes. Malheureusement la documentation de cette étape est souvent négligée, et il est rare qu'une illustration telle que l'exemple montré dans la figure 4 soit préparée. L'absence de documentation lors de cette étape (comme pour toute étape) peut s'avérer problématique dans le cas où il y a désaccord sur le résultat final (figures 4).

5.2.3. Phase d'évaluation

L'évaluation est l'étape durant laquelle le spécialiste pondère la valeur des correspondances et des éventuelles différences relevées lors de la comparaison. Deux éléments rentrent alors en ligne de compte : d'une part, la qualité des concordances et, d'autre part, la rareté de la configuration observée. A l'issue de l'évaluation, une conclusion est formulée. Dans ce domaine trois conclusions sont fréquemment et presque exclusivement utilisées : l'« *individualisation* » (généralement appelée aussi « *identification* »), l'« *exclusion* », et la conclusion « *indéterminé* ». Lorsque la conclusion est l'individualisation, cela signifie que la source de la trace et de l'empreinte est la même, à l'exclusion de toute autre source. Une exclusion veut dire que la trace et l'empreinte n'ont pas la même source. Finalement, la conclusion « *indéterminé* » indique qu'il n'y a pas assez d'éléments dans la comparaison, ni pour une identification, ni pour une exclusion.

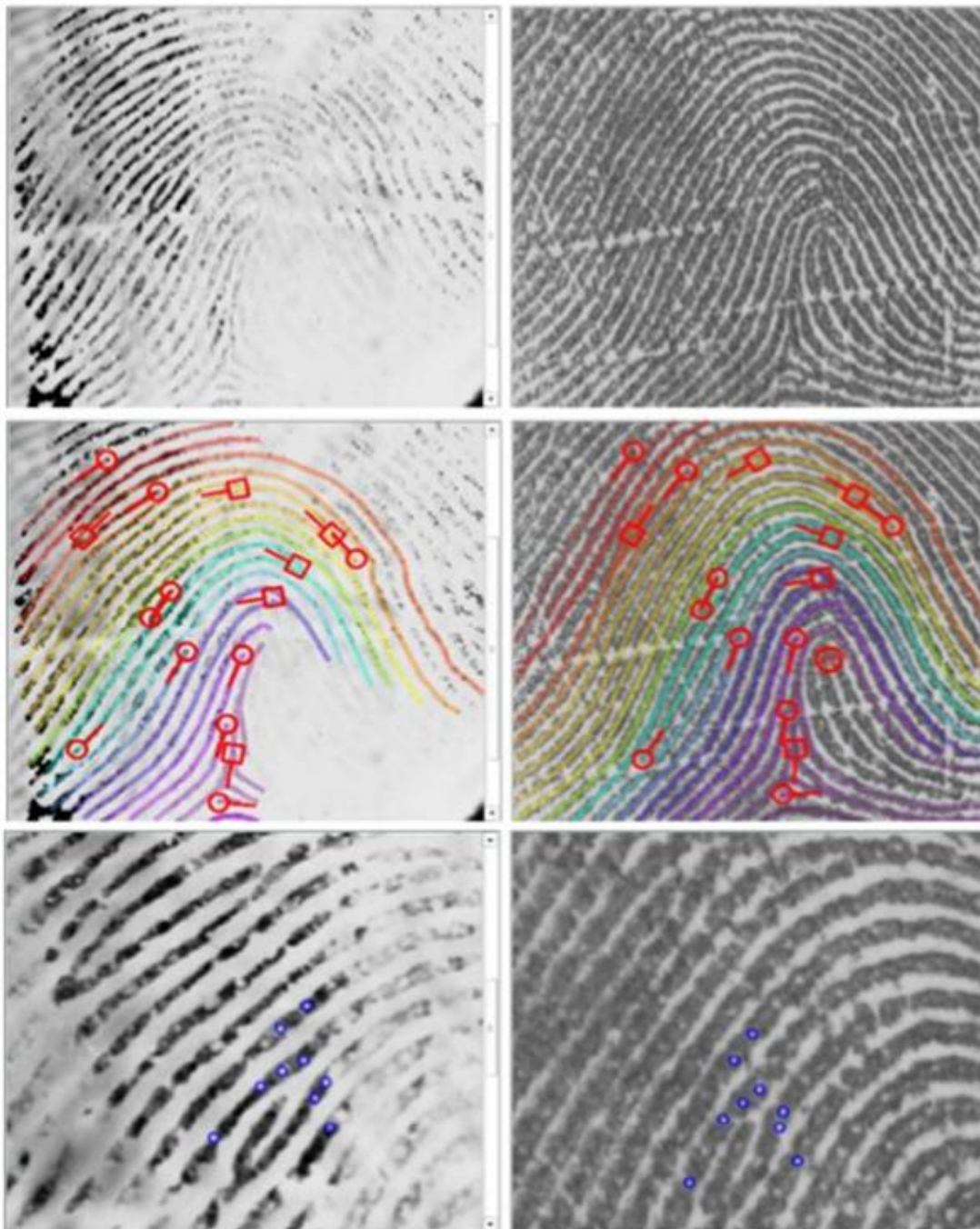


Figure 4 Exemple de documentation d'une comparaison. En haut, un agrandissement de la comparaison sans annotation (la trace à gauche et l'empreinte à droite). Au milieu, une illustration des concordances au niveau de l'arrangement des crêtes et au niveau des minuties. En bas, un agrandissement de quelques détails de niveau 3 trouvés en correspondance. (Figures traduites publiées originalement dans [3]).

De différences observées au niveau du flux des crêtes (par exemple, la trace montrant une boucle et l'empreinte un verticille) vont permettre d'exclure que la trace et l'empreinte proviennent de la même surface papillaire. A tous les niveaux, l'observation d'une divergence plus grande que celle autorisée par les tolérances définies lors de l'analyse va mener à une exclusion. On parle de doctrine de la dissimilitude unique. Consécutivement, l'absence de telles divergences est l'une des conditions nécessaires à l'identification.

S'il n'y a pas de telles discordances, les correspondances observées sont pondérées par le spécialiste, qui se réfère alors aux standards nécessaires à l'identification décrits ci-après. Le spécialiste va conclure à une individualisation lorsqu'il observe tellement de concordances dans les caractéristiques (des trois niveaux) visibles que la probabilité de les observer, si les impressions venaient de doigts différents, est estimée comme étant nulle ou pour le moins comme négligeable.

Dans tous les autres cas, c'est-à-dire lorsque le nombre ou la qualité de concordances sont insuffisants, la conclusion sera « *indéterminée* ». Cela même si un certain nombre de concordances, et d'une valeur discriminante potentiellement élevée, est visible. Dans de tels cas, on peut considérer que l'élément représenté par la comparaison dactyloscopique pourrait fournir un élément corroboratif à l'appui d'une source commune sans toutefois que la mise en relation offre une certitude quant à l'identité de source. De tels éléments de présomption ne sont que rarement portés à l'attention du système judiciaire, malgré l'information importante (mais incertaine) qu'ils pourraient amener, et cela est regrettable [30]. L'approche dominante de la profession est donc conservatrice et limite globalement le potentiel de l'indice dactyloscopique. Il existe, chez les spécialistes, un refus de formuler des conclusions autres que catégoriques, une majorité d'entre eux niant la pertinence de la formulation de conclusions probabilistes. Souvent, ce refus se base sur un argument diffus et fallacieux invoquant l'individualité de l'empreinte : « si chaque empreinte est unique, il n'y a pas d'incertitude exprimée à l'issue d'une comparaison ».

Toutefois, force est de constater que l'information contenue dans une trace n'est que partielle ; ainsi, même en acceptant le principe de l'unicité des empreintes papillaires, son application à des traces partielles, et parfois d'une visibilité rendue difficile par le support, n'est pas triviale et fait forcément intervenir une inférence probabiliste. Malheureusement la plupart des spécialistes ne sont pas à l'aise pour formuler une conclusion en termes de probabilités. Actuellement différents modèles statistiques permettent de quantifier la contribution statistique des arrangements papillaires. Des outils nécessaires pour formuler des avis qualifiés basés sur des données seront donc disponibles à l'avenir, et permettront de développer une approche incluant un plus large éventail de conclusions possibles. L'argument selon lequel une approche probabiliste du domaine l'affaiblirait est, à notre avis, largement compensé par la possibilité d'utiliser des traces qui ne sont pas identifiables (et dont la valeur pourrait être intégrée sous forme probabiliste), par l'introduction d'une transparence et d'une objectivité.

5.2.4. Phase de vérification

La *vérification* est la dernière phase du protocole ACE-V. Elle est effectuée par un deuxième spécialiste qui effectue, à nouveau, les trois étapes du protocole (ACE). Le but de cette étape est de vérifier qu'un autre spécialiste parvient à la même conclusion que le premier de façon indépendante. Cette étape est considérée, par beaucoup, comme le meilleur outil d'assurance qualité qui puisse être mis en place. Toutefois, pour que la vérification remplisse totalement sa fonction, il est nécessaire que les différentes étapes soient bien documentées dans chacun des deux processus ACE, et il est également nécessaire que le bureau d'identification ait mis en place des processus destinés à gérer les différences d'opinion pouvant survenir. Ce deuxième point est primordial par rapport à l'importance qui peut être donnée à la vérification. Idéalement, cette vérification devrait s'effectuer en aveugle, autrement dit le deuxième spécialiste ne devrait pas connaître la conclusion du premier, ni la façon dont il est arrivé à celle-ci. Toutefois, la révision indépendante est difficile à assurer dans des petits départements qui traitent beaucoup de dossiers. Aussi, du fait de contraintes de temps et de personnel, peu de départements ont implémenté la vérification dans des cas de traces non identifiées. Outre à des contraintes financières, cela peut aussi être dû au fait qu'une identification qui n'est, à tort, pas effectuée, est actuellement considérée comme étant moins grave qu'une fausse identification. Des étapes supplémentaires peuvent être ajoutées. En Angleterre, il y a ainsi une deuxième vérification. Cette étape supplémentaire est présentée comme pouvant pallier toute erreur d'identification, mais il n'est pas certain qu'une vérification quasi indépendante supplémentaire fournisse effectivement une telle garantie. En particulier, si ces vérifications se déroulent dans un environnement où la possibilité d'une erreur n'est pas du tout admise, et qui est dominé par la croyance que plus d'expérience équivaut à plus de compétence, il n'est pas certain que la vérification remplisse vraiment la fonction qui lui est attribuée.

5.3. Standards pour l'identification

Tous les standards discutés ci-après s'appliquent à tous les types de comparaisons, qu'il s'agisse de comparaisons trace-empreinte, empreinte-empreinte ou trace-trace.

Pour les empreintes prises dans des conditions standardisées, il n'a jamais été trouvé de cas où deux personnes différentes présentaient des arrangements papillaires qui ne pouvaient pas être distingués. Cette observation se base toutefois sur l'utilisation de l'ensemble complet des empreintes des dix doigts. Ces observations empiriques, combinées aux connaissances de morphogenèse des lignes papillaires concourent à un argumentaire fort en faveur de l'unicité de ces configurations. Et nous ne voyons qu'un risque minime à admettre l'identification comme établie lorsque les comparaisons reposent sur une telle richesse d'informations papillaires. Le problème est tout autre dans le cas des traces relevées en association avec des délits : elles sont d'une moins bonne qualité, souvent partielles, distordues, d'une clarté réduite. Dans ce cadre, il n'est pas trivial de pouvoir appliquer la prémisse de l'unicité sans porter une attention particulière à la quantité et à la qualité de l'information mise à disposition par la trace. En d'autres termes, la capacité d'un expert à distinguer des entités de sources différentes dépend intimement des qualités de la trace.

La conclusion d'identification (ou individualisation) par les empreintes papillaires signifie que les deux impressions en examen proviennent de la même surface papillaire, à l'exclusion de toutes les autres. L'expression « à l'exclusion de toutes les autres » inclut toutes les impressions qui existent à un moment donné sur la surface du globe. On parle de *paradigme de la terre entière*. De façon générale, une conclusion en regard d'une telle population ne s'impose pas dans la majorité des dossiers, vu le nombre généralement plus restreint de personnes pouvant avoir laissé la trace. Dans la plupart des cas, en effet, la véritable source de la trace fait partie d'un groupe restreint de personnes. Il est donc intéressant de noter que la profession dactyloscopique ait ressenti le besoin de statuer en de tels termes dépassant systématiquement la force d'indice qui serait considérée comme utile et nécessaire dans le contexte d'un dossier présenté dans un tribunal.

Les standards d'identification sont de deux types dans la pratique : soit un nombre de caractéristiques concordantes doit être atteint sans discordance, on parle alors de standard numérique ou *d'approche empirique*, soit la décision est basée essentiellement sur l'opinion du spécialiste à la lumière de la spécificité des caractéristiques observées, on parle alors *d'approche holistique*. Le recours à une appréciation probabiliste, subjective ou mesurée par des modèles statistiques, constitue une troisième voie actuellement peu exploitée par les praticiens.

5.3.1. Standards numériques (ou empiriques)

Le 20^{ème} siècle a d'abord vu l'établissement de standards numériques dans la plupart des pays, mais, vers la fin du siècle, plusieurs pays ont pris la décision d'abandonner de tels standards.

Pour les partisans de l'approche empirique, il est à relever que les standards numériques varient entre pays, ce qui ne facilite pas les échanges internationaux. Certains pays considèrent l'identification possible entre 8 et 12 minuties (Allemagne, entre 10-12 pour la Hollande), d'autres utilisent un standard fixé à 10 (Tchéquie) ou 12 minuties (France, Belgique, Espagne, pays sud-américains). L'Italie pour sa part s'est fixé un standard de 16 à 17 points.

Historiquement, trois travaux français sont à l'origine de la majorité des standards numériques : la règle tripartite de Locard [31], une publication de Bertillon [32], ou un modèle statistique proposé par Balthazard [33].

La règle tripartite de Locard de 1914 s'articule de la manière suivante :

1. *Il y a plus de douze points concordants ; l'empreinte est nette; la certitude d'identité est indiscutable pour tous.*
2. *Il y a 8 à 12 points, la certitude est fonction : a) de la netteté de l'empreinte ; b) de la rareté de son type ; c) de la présence du centre de figure ou du triangle dans la partie déchiffirable ; d) de la présence des pores ; e) de la parfaite et évidente identité de largeur des crêtes et sillons papillaires, de direction des lignes et de valeur angulaire des bifurcations.*
3. *Il y a très peu de points : dans ce cas, l'empreinte ne fournit plus de certitude, mais seulement une présomption proportionnelle au nombre des points et à leur netteté.*

Les pratiques centrées sur 12, ou 8 à 12 minuties tirent leur origine dans les deux premiers points de la règle tripartite de Locard. La pratique française est donc, nous dirions malheureusement, focalisée sur une règle rigide à 12 minuties. Comme nous l'avons déjà évoqué, la troisième option de la règle tripartite de Locard n'est que peu retenue par les praticiens modernes. La publication de Bertillon quant à elle présente entre autres deux empreintes de sources différentes avec une correspondance approximative de 16 points (moyennant des retouches effectuées par l'auteur). L'intention de Bertillon n'était pas de débattre de la question du nombre de minuties nécessaires à une identification mais surtout de relever l'importance de l'absence de discordances dans le processus dactyloscopique. Son texte fut largement ignoré dans le monde anglo-saxon et seules les images retouchées ont circulé. Ces images sont connues pour être en partie à l'origine du standard de 16 points au Royaume-Uni [34]. Balthazard proposa en 1911 une justification statistique de la règle des 16 à 17 minuties nécessaires à une identification. Ses travaux sont cités régulièrement dans la jurisprudence italienne relative au standard de 16 à 17 points. Or le modèle de Balthazard repose sur des prémisses fallacieuses. Ces lacunes furent identifiées dans la littérature spécialisée dès sa publication.

Parmi ces trois sources possibles des différents standards, aucune n'est basée sur des études valides et reconnues de traces et d'empreintes.

5.3.2. Approche holistique

Les travaux vers l'abandon des standards numériques ont débuté dans les années 1970. En 1973, un organisme professionnel américain, *l'International Association for Identification* (IAI), déclara qu'il n'y avait pas de raison valide pour un standard numérique (un nombre minimal de minuties), entraînant alors plusieurs pays dans un processus d'abandon du standard numérique (souvent à 12 points) (1973). C'est la base de l'approche holistique où l'expert est invité à prendre une décision au cas par cas en fonction des qualités intrinsèques de la trace, ceci en fonction de sa formation et son expérience. Jusque vers les années 2000, seuls le Canada, les Etats-Unis, l'Australie et la Nouvelle-Zélande opéraient selon cette directive de l'IAI. Puis à la suite d'une étude britannique [35], l'Angleterre et le pays de Galles ont abandonné le standard numérique, qui était de 16 points, en 2001. En Suisse, le standard numérique de 12 points fût abandonné en 2007 à la suite de travaux collaboratifs comparables à ceux menés en Angleterre. L'Ecosse a également aboli son standard de 16 points en 2007.

En 1995 à Ne'Urim en Israël (36), la résolution de l'IAI a été confirmée dans une formulation modifiée pour tenir compte d'une base jurisprudentielle dans certains pays (dont l'Italie). Elle affirme maintenant qu'aucune base *scientifique* n'existe pour requérir un nombre minimal de *caractéristiques* en concordance entre une trace et une empreinte afin d'individualiser.

Cette résolution se base principalement sur les arguments suivants :

- la proportion des dessins généraux dans la population est très variable d'une classe à l'autre. Par exemple, certains types d'arcs sont très rares, au point qu'ils restreignent la population de donneurs potentiels d'un facteur dix fois supérieur à celui de verticilles. Or, un système de standard numérique ne tient pas compte des différences de fréquence des différents dessins généraux.
- La rareté des types de minuties est également variable. Cette rareté est fonction, en particulier, du type de la minutie et de sa position sur la surface papillaire. D'un point de vue statistique, le fait d'attribuer un poids identique à toutes les minuties - ce qui est sous-entendu dans un standard numérique - n'est pas défendable. Des études statistiques récentes ont pu démontrer que la valeur de l'information offerte par des configurations de seulement trois minuties pouvait être très grande [37; 38]. Certaines configurations comportant un nombre de minuties parfois restreint peuvent néanmoins peser de manière importante en faveur de l'hypothèse d'une source commune pour deux impressions (par rapport à l'hypothèse inverse de sources différentes).
- Lorsque la qualité de la trace (et de l'empreinte) le permet, des caractéristiques de niveau 3 telles que les positionnements des pores et les formes des bords de crêtes peuvent apporter du poids (sans être déterminant à eux seuls) dans la décision d'identification. Or, il n'y a pas moyen de tenir compte de ces caractéristiques dans le cadre d'un standard numérique.

L'approche holistique préconisée par l'IAI tient compte de tout type de caractéristique, mais aussi de la netteté des particularités observées. Elle est proposée en 1999 par David Ashbaugh [29] sous le nom de *ridgeology*. Ainsi à la question « quelles sont les caractéristiques utilisées pour conclure à une identification ? », la réponse est souvent « toutes ». La décision ultime se base ici sur l'appréciation par l'expert des caractéristiques prises sur les trois niveaux. Les notions de qualité et de quantité sont, dans l'approche holistique, considérées de façon conjointe. En effet, beaucoup de détails de faible qualité sont considérés comme possédant la même valeur que celle de quelques détails de très bonne clarté.

5.3.3. Approche par modèle statistique

Actuellement les praticiens font peu appel à des modèles statistiques permettant de les guider quant à la valeur du lien mis en évidence pendant la phase de comparaison. Des données sur les fréquences des minuties dans des populations d'empreintes sont disponibles, mais s'avèrent difficiles à utiliser dans une comparaison donnée, hormis pour apporter un soutien à l'appréciation de la valeur d'un groupe de minuties observé. La grande majorité des modèles se base sur les minuties, mais quelques modèles s'intéressent également aux pores. Les premiers développements datant du début du 20^{ème} siècle jusqu'à la fin des années 1990 s'intéressaient principalement à la probabilité de correspondance fortuite. Ces modèles ne prenaient pas en compte la variabilité qui peut exister entre différentes impressions d'un même doigt. Ainsi, les probabilités de correspondance fortuite sont souvent basées sur une correspondance exacte entre deux impressions, sans tenir compte de la tolérance qui est admise lors d'une comparaison effectuée dans le cadre forensique (comme nous l'avons évoqué dans la phase d'analyse). Les modèles les plus récents intègrent une telle tolérance, en particulier au niveau des types de minuties ou de leur positionnement. Ils tiennent compte, dans un rapport de vraisemblance, aussi bien de *l'intravariabilité* (les différences qui peuvent être observées entre plusieurs impressions du même doigt) et de *l'intervariabilité* (les différences observées entre impressions de doigts différents) [39 ; 37; 38]. Nous attendons que ces développements apportent de nouveaux outils aux praticiens pour une appréciation de la force de l'indice dactyloscopique en toute transparence.

5.4. Les biais et les erreurs dans l'identification dactyloscopique

Récemment, plusieurs recherches ont tenté d'identifier les biais dont peuvent être victimes les spécialistes en comparaison papillaire (40 ; 41 ; 42 ; 43 ; 44). Ces travaux montrent que des biais dus au contexte interviennent dans la dactyloscopie, et qu'il faut en être conscient. Toutefois, l'étude de Schiffer [44] tend à montrer que, lorsque le protocole ACE-V est suivi de façon stricte, les conclusions se trouvent peu influencées par des informations externes à la comparaison dactyloscopique. Toutefois, il est peu certain que, dans la pratique, ce protocole soit suivi très strictement dans tous les cas. Il a également été montré que les effets dus au contexte sont problématiques lorsque la comparaison est difficile, c'est-à-dire lorsque la trace (ou l'empreinte) présente peu d'informations fiables [45].

Pendant longtemps, la profession a nié la possibilité de résultats erronés, sauf dans des cas où l'identification erronée est intentionnelle (dans des cas de fabrication de preuve per exemple), ou que le spécialiste n'avait pas les compétences requises. A la suite d'une étude longitudinale d'envergure, un chercheur a cependant découvert 22 cas d'identifications erronées [46 ; 47].

Cole suggère que les cas qu'il a réussi à trouver ne représentent qu'une petite partie des cas existants, mais cette affirmation ne peut pas être vérifiée. Parmi ces 22 cas, deux se sont produits au Royaume-Uni (alors sous un standard de 16 points). Un cas est toujours discuté et sous enquête en Ecosse. Il s'agit de l'identification de Shirley McKie et de David Asbury à partir respectivement d'une trace retrouvée sur une scène de crime et d'une autre sur une boîte de biscuits. Ces identifications ont été effectuées en utilisant le standard de 16 points en vigueur à ce moment-là en Ecosse.

La policière Shirley McKie, qui niait avoir pénétré sur la scène de crime, a été condamnée pour faux témoignage puis finalement blanchie [48]. David Asbury de son côté a été libéré suite à trois ans d'emprisonnement. A la suite de cette affaire, une enquête complète sur les services dactyloscopiques Ecossais a été conduite par un comité du Parlement Ecossais, et ce rapport peut être consulté :

Les avis sur l'identification effectuée sont divergents ; certains spécialistes maintiennent qu'il s'agit d'une identification valide, alors que d'autres soutiennent que c'est une exclusion. Le désaccord persistant entre spécialistes dans cette affaire est problématique pour tout le domaine dactyloscopique. L'enquête judiciaire actuellement en cours devrait apporter une solution au dilemme (www.thefingerprintingquirys-cotland.org.uk/) .

Le cas récent de fausse attribution le plus connu est probablement l'identification erronée de l'avocat américain Brandon Mayfield. Une trace retrouvée en lien avec les attentats terroristes de Madrid en 2004 a été faussement attribuée, par le FBI, à Brandon Mayfield. Il est intéressant de relever que l'information d'identification transmise par les autorités américaines n'a jamais été acceptée par la police espagnole, cela malgré le déplacement d'une délégation du FBI en Espagne afin de démontrer l'identification effectuée. C'est quelques semaines après cette identification que la police espagnole est, à son tour, parvenue à identifier la trace avec une autre source, le dénommé Daoud. Les spécialistes (quatre, dont certains affiliés au FBI et un spécialiste indépendant nommé par le tribunal) qui avaient fait la première identification ont alors constaté qu'ils s'étaient trompés. Mais le plus intéressant dans ce cas, ce sont les rapports qui ont suivi les incidents. Les recommandations principales d'un groupe interne au FBI [49] invitent à revoir le programme de formation, les politiques d'acceptation de preuves, les procédures utilisées pour estimer la valeur d'une comparaison trace-empreinte, et d'établir des procédures de vérification plus strictes. Une révision interne sous l'angle scientifique a mis en évidence un besoin de recherche systématique qui a toujours fait défaut dans la branche [50]. Enfin, le rapport de *l'Office of the Inspector General* [51] a identifié quatre points critiques dans ce dossier :

- L'empreinte de Brandon Mayfield montrait des correspondances importantes avec la trace (10 minutes peuvent en effet être considérées comme rentrant dans les limites de tolérance).
- L'utilisation de points visibles essentiellement sur l'empreinte et considérés comme fiable sur la trace.
- Des conclusions erronées de l'étape d'analyse par rapport au nombre de traces présentes (impression dédoublée ou superposition) et une confiance peut être trop forte dans des détails de niveau 3.
- Un biais potentiel du fait que les vérificateurs connaissaient la conclusion du premier spécialiste et donc ont simplement ratifié la décision d'un collègue respecté et expérimenté.

Ces trois rapports sont d'une grande importance, puisque dans l'affaire Mayfield, l'erreur ne peut pas être attribuée à la compétence des spécialistes. En effet, vu leur expérience et leur statut dans la profession, il était difficile de remettre en question leurs compétences individuelles, ce qui était généralement la réponse privilégiée par la profession dans les cas d'identifications erronées. Dans les trois rapports susmentionnés, il est relevé que la possibilité d'une fausse identification existe (surtout, comme nous le verrons plus loin, lorsque le candidat potentiel est suggéré suite à une recherche dans un fichier automatisé), et que les procédures en place devraient prendre en compte cet état de fait. Cette affaire est en train de sonner le glas du concept d'individualisation infaillible en regard de la terre entière. Plusieurs auteurs ont appelé récemment à l'abandon de conclusions donnant cette illusion de certitude absolue (52 ; 53).

Un point important, en lien avec le degré de correspondance entre la trace et l'empreinte, peut aussi être attribué à un phénomène qui prend de l'ampleur à l'heure actuelle. Cette trace associée aux attentats de Madrid a été cherchée dans les banques de données de plusieurs agences gouvernementales : les Etats-Unis l'avaient en effet reçue par Interpol. Cette trace est donc l'une des impressions qui a été recherchée le plus largement dans des banques informatisées. Il est évident que plus la banque de données à laquelle on confronte une trace est grande, plus la probabilité d'une correspondance fortuite est importante. A l'heure actuelle, les banques de données d'empreintes digitales ou palmaires deviennent très grandes ; en Europe, un échange plus direct de données issues des banques de données nationales est en train de s'établir. Les banques de données nationales (comportant des centaines de milliers, voire des millions de fiches décadactylaires) se retrouveront donc en quelque sorte toutes réunies, et une trace se verra être confrontée à plusieurs millions, voire quelques dizaines de millions de fiches décadactylaires. A titre d'exemple, la banque

de données nationale des Etats-Unis contient 70 millions de fiches décadactylaires. Cet accroissement important des banques de données devrait, à notre avis, être considéré lors de toute prise de décision pour une comparaison donnée.

5.5. De la source à l'activité

Lorsqu'une identification est effectuée entre une trace et une empreinte, la conclusion indique que la trace et l'empreinte proviennent de la même source. Cela ne permet pas d'affirmer que le doigt a touché la surface. En effet, cette deuxième information se situe au niveau de *l'activité* de l'individu. Pour conclure à ce niveau, d'autres possibilités doivent être prises en compte, notamment le fait qu'il s'agisse d'une falsification. Il est en effet possible de fabriquer des « tampons », avec ou sans la collaboration de l'individu, et de déposer ainsi des traces. Ainsi il est important de garder à l'esprit qu'une identification ne signifie pas de facto que la personne a touché l'objet en question. L'inférence quant à la manipulation de l'objet doit tenir compte d'autres facteurs extrinsèques comme le positionnement de la trace sur l'objet, la mise en relation avec des traces adjacentes, etc.

5.5.1. Datation de la trace

Finalement lorsque se pose la question de la pertinence d'une trace par rapport à une infraction, la datation de la trace devient intéressante. A l'heure actuelle, celle-ci n'est cependant pas possible dans l'absolu. Quelques cas où des éléments contextuels interviennent font exception ; par exemple, le fait que des traces soient observées dans le sang indique qu'elles ont été laissées après qu'une personne ait saigné, ou le fait que des traces soient couvertes de suie indique qu'elles étaient présentes avant le feu. Plusieurs travaux de recherche sur la question de la datation sont actuellement en cours mais ils se heurtent à deux obstacles principaux : 1) la qualité et la quantité de résidu lors du dépôt sont inconnus dans le cadre de traces laissées par inadvertance et 2) les conditions (température, lumière, humidité) dans lesquelles les traces ont été préservées sont en général inconnues. Ainsi, l'analyse des composantes des traces peut-elle fournir des informations quant à l'importance relative de certains composés, ou à la dégradation de composés dont la présence dans le résidu est avérée, mais les résultats issus de telles analyses sont très difficiles à interpréter à l'heure actuelle, puisque les quantités absolues ou relatives des différents composés lors du dépôt ne sont pas connues.

5.5.2. Emplacement de la trace

L'interprétation de l'emplacement où les traces ont été laissées est également importante. En effet, sur un même objet (ou une même surface) plusieurs traces peuvent être détectées. Dans ce cas, il se pose la question de la simultanéité de leur apposition. Il existe des indications d'une telle simultanéité : d'abord, le positionnement des traces entre elles (est-ce qu'il est cohérent avec la forme de la main et la prise de l'objet ?), puis l'existence d'un éventuel mouvement. Si les traces sont glissées, et toutes d'une façon similaire, l'hypothèse de simultanéité devient très vraisemblable. Cette information peut, par la suite, être utilisée pour comparer les traces conjointement à des empreintes de contrôle. Ainsi, une fois déterminé laquelle des traces provient du pouce, celle-ci sera comparée uniquement à des pouces. Finalement, ce même positionnement relatif peut être utilisé par exemple pour savoir de quelle manière l'objet a été tenu par la main qui l'a touché. Une lampe torche ne sera pas tenue de la même façon si elle est utilisée pour éclairer que lorsqu'elle est utilisée comme arme.

5.5.3. Quelle alternative pour l'expert ?

Il y a, de façon générale, une forte volonté des spécialistes dactyloscopes de se limiter, dans leurs conclusions, à l'information relative à la source. Toutefois, la question posée au spécialiste peut souvent ne pas se limiter à cette information. En effet, dans certains cas, une personne peut très bien avoir manipulé un objet,

et être à la source des traces, mais sans que ce contact n'ait un lien avec l'activité criminelle examinée par la justice. Notre avis est que si des informations au niveau de l'activité peuvent être fournies, elles devraient l'être, sous une forme adaptée. Dans tous les cas il peut difficilement y avoir de certitudes par rapport aux questions d'activité.

L'absence de traces est également souvent mal comprise par les investigateurs et la justice. En effet, l'absence de traces ne signifie nullement qu'un objet n'a pas été touché (ou qu'il a été essuyé). En effet, la déposition, la persistance et la détection de traces ne sont pas des phénomènes contrôlés. Les méthodes de détection sont aussi sensibles que possible, mais si le dépôt laissé était infime, et potentiellement dégradé dans le temps précédant la détection, il se peut qu'aucune trace ne soit détectée alors même que l'objet a été touché. La préservation est aussi un facteur important ; l'absence de traces s'explique, par exemple, facilement si un objet a été mouillé. De façon générale, l'absence des traces d'une personne donnée ne peut pas être invoquée pour soutenir que cette personne n'a pas été en contact avec l'objet.

6. La preuve dactyloscopique devant les tribunaux

Lors de son introduction au début du 20^{ème} siècle, la preuve par empreintes papillaires a été examinée par les tribunaux de différents pays. Son pouvoir d'identification a été accepté de façon relativement facile par les tribunaux dès le début du 20^{ème} siècle, notamment en France, en Allemagne, en Norvège et en Suisse. Locard [31] dresse un inventaire des « succès » en justice de la trace dactyloscopique dès 1914. Il en va de même dans les pays anglo-saxons [10] où malgré une procédure contradictoire plus exigeante, l'effet de la nouveauté et de la scientificité perçue de la preuve dactyloscopique en fera la reine des preuves.

L'augmentation exponentielle de l'usage des rapprochements dactyloscopiques soit sur la base d'empreintes ou de traces a rapidement mené à lui associer une aura d'infailibilité qui n'a plus été remise en question jusqu'à récemment. Au point où la preuve dactyloscopique est souvent présentée en tant qu'élément scientifique pouvant être suffisant à lui seul dans un dossier. Nous ne pouvons que regretter ce statut. L'indice technique est certes fort mais pas absolu. A notre avis, il doit être systématiquement replacé dans un contexte et mis en perspective avec les autres éléments du dossier qui peuvent être à charge ou à décharge.

Plus récemment, et suite à une redéfinition des critères d'admissibilité de la preuve technique devant les tribunaux américains, davantage de questions sont posées aux experts notamment aux Etats-Unis. Les débats les plus virulents ont lieu dans les pays anglo-saxons, ce qui est certainement lié à la nature de leur système judiciaire, soit une procédure accusatoire, accordant une grande importance aux débats devant le tribunal (contrairement à une procédure inquisitoire où la police enquête à charge et à décharge).

Aux Etats-Unis, de nouvelles lignes directrices destinées à aider le magistrat à décider quant à l'admissibilité des moyens de preuve scientifique [54] furent proposées par la Cour Suprême en 1993, faisant alors jurisprudence dans l'affaire *Daubert v. Merrell Dow Pharmaceuticals* (1993). Ces nouvelles lignes directrices ont été appliquées aux empreintes papillaires et les preuves dactyloscopiques ont été admises dans plusieurs cas, ce jusqu'à ce que, en 2002, un juge prenne dans un premier temps une autre direction. Dans le cas *US v Llera Plaza* (2002) le juge a décidé que l'expert pouvait uniquement relever les concordances et discordances observées dans un cas donné, mais ne pouvait donner son avis quant à une source commune des deux impressions. Selon cette décision, c'était au tribunal de déterminer la signification des résultats de la comparaison. Il a été demandé à ce juge de revoir son opinion. Il l'a renversée, et a admis la preuve dactyloscopique dans ce cas, ce qui eut comme conséquence un intérêt accru pour la dactyloscopie, aussi bien dans la littérature scientifique et juridique, que dans la presse. Enfin, dans le cas *US v Byron Mitchell* (2004) le tribunal a accepté la preuve dactyloscopique sous l'angle des critères fixés par l'arrêt *Daubert*, mais a évalué le domaine. Le juge considéra que les avantages de la dactyloscopie sont plus grands que les risques associés, mais que la discipline manque de standards clairs, notamment quant à la quantité ou qualité de caractéristiques nécessaires pour effectuer une identification. Cette jurisprudence s'est montrée constante ces dernières années.

7. Conclusion

Le statut scientifique de la dactyloscopie est critiqué dans la littérature spécialisée américaine (54 ; 55 ; 46, ; 47 ; 57 ; 58 ; 59 ; 60 ; 61 ; 62) . La majorité des critiques traitent de l'étape d'évaluation, ou du protocole utilisé (ACE-V). Il est correct d'insister sur le fait que le suivi d'un protocole (ACE-V) en tant que tel n'enlève en rien la problématique représentée par l'évaluation de la preuve, qui est bien le point où le domaine manque de données et de standards. C'est dans ce cadre précis que nous estimons que les études statistiques ont toute leur importance. Une des études effectuées sur des empreintes partielles montre que, en moyenne, une simple configuration de trois minuties (Neumann *et al*, 2006) apporte un élément indiciel qui vient très fortement à l'appui de l'hypothèse d'identité de source (la probabilité d'observer les correspondances entre trois minuties sur la trace et l'empreinte est en effet environ 7 000 fois supérieure si les impressions proviennent du même doigt que dans le cas inverse). La force du lien augmente au fur et à mesure que le nombre de minuties concordantes entre la trace et l'empreinte est augmenté [37]. Il existe donc là un outil qui permet d'apporter un soutien précieux et une transparence bienvenue dans l'évaluation de la force indiciale associée aux mises en relation sur la base des crêtes papillaires.

8. Bibliographie

- 1) Margot P & Lennard C. Les méthodes de détection des empreintes digitales (6^{ème} ed. 1994). Lausanne, Suisse : Université de Lausanne.
- 2) Champod C. Reconnaissance automatique et analyse statistique des minuties sur les empreintes digitales. Thèse de doctorat (1996) ; Université de Lausanne, Lausanne.
- 3) Champod C, & Chamberlain P. Fingerprints. In J. Fraser & R. Williams (Eds.), Handbook of Forensic Science (2009). Cullompton: Willan Publishing.
- 4) Maltoni D, Maio D, Jain AK & Prabhakar, S. Handbook of Fingerprint Recognition. New York: Springer Verlag. 2003.
- 5) About I. Les fondations d'un système national d'identification policière en France (1893-1914). Anthropométrie, signalements et fichiers. Genèses. 2004 ; 54: 28-52.
- 6) Cummins H & Wright Kennedy R : Purkinje's Observations (1923) on Finger Prints and Other Skin Features. Journal of Criminal Law and Criminology. 1940 ; 31(3): 343-356.
- 7) Welcker H : Die Dauerhaftigkeit des Dessen der Riefchen und Fältchen der Hände. Archiv für Anthropologie – Zeitschrift für Naturgeschichte und Urgeschichte des Menschen, 1898 ; 25: 29-32.
- 8) Figuiet L. Les vapeurs d'iode employées comme moyen de reconnaître l'altération des écritures par M. Coulier. L'année scientifique et industrielle. 1863 ; 8: 157-163.
- 9) Beavan C. Fingerprints - The origin of the crime detection and the murder case that launched forensic science (2001). New York : Hyperion.
- 10) Cole SA. Suspect identities: A history of fingerprinting and criminal identification. Cambridge : Harvard University Press (2001).
- 11) Sengoopta C. Imprint of the Raj - How fingerprinting was born in colonial India (2001). London: Macmillan.
- 12) De Varigny H. Les empreintes digitales d'après Galton. Revue Scientifique. 1891 ; 17: 557- 562.
- 13) Vucetich J. Dactyloscopia comparada. El nuevo sistema argentino. La Plata (Argentina) 1904 ; Jacobo Peuser.
- 14) Sannié C. Alphonse Bertillon et la dactyloscopie. L'affaire Scheffer. Revue internationale de police criminelle. 1950 ; 5(41) : 255-262.
- 15) Yvert A. L'identification par les empreintes digitales palmaires (la dactyloscopie). Lyon (1904) : A. Storck et Cie Ed : Université de Lyon.
- 16) Locard E. L'identification des récidivistes. Paris 1909 ; A. Maloine.
- 17) Forgeot R. Des empreintes digitales étudiées du point de vue médico-judiciaire. Lyon (1892) ; A. Storck.
- 18) Goode GC & Morris JR. Latent Fingerprints: A Review of their Origin, Composition and Methods for Detection. Aldermaston : Atomic Weapons Research Establishment, UK AWRE Report No. 022/83 (1983).
- 19) Becue A, Champod C & Margot PA. Fingermarks, Bitemarks and other Impressions (Barefoot, Ears, Lips) - A Review (September 2004 - July 2007). Paper presented at the Proceeding of the 15th Interpol Forensic Science Symposium (2007).

- 20) Maurer, J. A. J. (1960) ; USA Patent No. 2952181.
- 21) Trauring M. Automatic Comparison of Finger-Ridge Patterns. *Nature*. 1963 ; 197(4871) : 938-940.
- 22) Woodward JD, Orlans NM & Higgins PT. 2003 ; *Biometrics*. Ontario: McGraw-Hill.
- 23) Komarinski P. Automated Fingerprint Identification Systems (AFIS). 2005 ; Burlington, MA: Elsevier Academic Press.
- 24) Champod C, Lennard CJ, Margot P & Stoilovic M. *Fingerprints and Other Ridge Skin Impressions*. Boca Raton, Florida. 2004 ; CRC Press.
- ; **28**(1): 109-135.
- 48) McKie I & Russell M. Shirley McKie: The Price of Innocence (2007). Edinburgh: Birlinn Ltd. United States of America v. Byron Mitchell, 365 F.3d 215 (3d Cir 2004 2004).
- 49) Smrz MA, Burmeister SG, Einseln A, Fisher CL, Fram R, Stacey RB et al. Review of FBI latent print unit processes and 25) Champod C, Egli N & Margot PA. Fingermarks, Shoesoles and Footprint Impressions, Tire Impressions, Ear Impressions, Toolmarks, Lipmarks, Bitemarks - A Review (2001-2004). Paper presented at the Proceedings of the 14th Interpol Forensic Science Symposium (2004).
- 26) Reis G. *Photoshop® CS3 for Forensics Professionals*. Indianapolis, USA : Wiley (2007). Publishing, Inc.
- 27) Russ JC. *Forensic Uses of Digital Imaging*. Boca Raton : CRC Press (2001).
- 28) Maceo AV. The basis for the uniqueness and persistence of scars in the friction ridge skin. *Fingerprint Whorld*. 2005 ; 31(121) : 147-161.
- 29) Ashbaugh DR. *Quantitative-qualitative Friction Ridge Analysis : An Introduction to Basic and Advanced Ridgeology*. Boca Raton : CRC Press (1999).
- 30) Champod C & Evett IW. A Probabilistic Approach to Fingerprint Evidence. *Journal of Forensic Identification*. 2001 ; 51(2): 101-122.
- 31) Locard E. La preuve judiciaire par les empreintes digitales. *Archives d'anthropologie criminelle, de médecine légale et de psychologie normale et pathologique*. 1914 ; 29(145) : 321-348.
- 32) Bertillon A. Les empreintes digitales. *Archives de l'anthropologie criminelle*. 1912 ; 27(217): 36-52.
- 33) Balthazard V. De l'identification des empreintes digitales. *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*. 1911 ; 152 : 1862-1864.
- 34) Champod C, Lennard C & Margot PA. Alphonse Bertillon and Dactyloscopy. *Journal of Forensic Identification*. 1993 ; 43 : 604-625.
- 35) Evett IW & Williams RL. A Review of the Sixteen Points Fingerprint Standard in England and Wales. *Fingerprint Whorld*. 1995 ; 21(82) : 125-143.
- 36) Margot P & German E. Fingerprint Identification Breakout Meeting "Ne'urim Declaration". in *Proceedings of the International Symposium on Fingerprint Detection and Identification (1995)*:. J. Almog and E. Springer, Eds. Ne'urim, Israel: Israel National Police, 1996, p. 21.
- 37) Neumann C, Champod C, Puch-Solis R, Egli N, Anthonioz A & Bromage-Griffiths A. Computation of Likelihood Ratios in Fingerprint Identification for Configurations of Any Number of Minutiae. *Journal of Forensic Sciences*. 2007 ; **52**(1) : 54-64.
- 38) Neumann C, Champod C, Puch-Solis R, Meuwly D, Egli N, Anthonioz A et al. Computation of Likelihood Ratios in Fingerprint Identification for Configurations of Three Minutiae. *Journal of Forensic Sciences*. 2006 ; **51**(6) : 1255-1266.
- 39) Egli NM. Investigation of the Possibility of Modelling Within-Variability of Configurations of 6 Minutiae Using an Automatic Fingerprint Identification System. Unpublished Master Thesis (2005) : Université de Neuchâtel.
- 40) Dror I. Experts and technology: Do's & Don'ts. *Biometric Technology Today*. 2005 ; **13**(9) : 7-9.
- 41) Dror I & Charlton D. Why Experts Make Errors. *Journal of Forensic Identification*. 2006 ; **56**(4) : 600-616.
- 42) Dror IE, Charlton D & Peron AE. Contextual Information Renders Experts Vulnerable to Making Erroneous Identifications. *Forensic Science International*. 2006 ; **156**(1) : 74-78.
- 43) Dror IE, Péron A, Hind S-L & Charlton D. When Emotions Get the Better of us: The Effect of Contextual Top-Down Processing on Matching Fingerprints. *Applied Cognitive Psychology*. 2005 ; **19**(6) : 799-809.
- 44) Schiffer B. The Relationship between Forensic Science and Judicial Error : A Study Covering Error Sources, Bias, and Remedies. Thèse de doctorat (2009), Université de Lausanne, Lausanne.
- 45) Langenburg G, Champod C & Wertheim P. Potential contextual bias effects in fingerprint comparisons. *Journal of Forensic Sciences*. 2009 ; **54**(3) : 571-582.
- 46) Cole SA. More than Zero: Accounting for Error in Latent Fingerprint Identification. *The Journal of Criminal Law and Criminology*. 2005 ; **95**(3): 985-1078.
- 47) Cole SA. Is Fingerprint Identification Valid? Rhetorics of Reliability in Fingerprint Proponents' Discourse. Law and Policy. 2006 recommendations to improve practices and quality. *Journal of Forensic Identification*. 2006 ; **56**(3) : 402-434.

- 50) Budowle B, Buscaglia J & Schwartz Perlamn R. Review of the Scientific Basis for Friction Ridge Comparisons as a Means of Identification: Committee Findings and Recommendations. Forensic Science Communications. 2006 ; **8**(1).
http://www.fbi.gov/hq/lab/fsc/backissu/jan2006/research/2006_01_research02.htm.
- 51) Fine GA. A review of the FBI's handling of the Brandon Mayfield case. Washington : Office of the Inspector General (2006).
- 52) Champod C. Identification and Individualization. In A. Moenssens & A. Jamieson (Eds.), Encyclopedia of Forensic Sciences (2009 ; Vol. 3, pp. 1508-1511). London: John Wiley & Sons.
- 53) Saks MJ & Koehler JJ. The Individualization Fallacy in Forensic Science Evidence. Vanderbilt Law Review. 2008 ; **61**: 199-219.
- 54) Berger MA. The Supreme Court's Trilogy on the Admissibility of Expert Testimony. In Federal Judicial Center (Ed.), Reference Manual on Scientific Evidence (2000). Washington : Federal Judicial Center, pp. 9-38.
- 55) Cole SA. Fingerprint Identification and the Criminal Justice System: Historical Lessons for the DNA Debate. In D. Lazer (Ed.), DNA and the Criminal Justice System (2004a ; pp. 63-90). Harvard: MIT Press.
- 56) Cole SA. Grandfathering Evidence: Fingerprint Admissibility Rulings from Jennings to Llera Plaza and Back Again. American Criminal Law Review. 2004b ; **41**(3) : 1189-1276.
- 57) Cole SA. The Prevalence and Potential Causes of Wrongful Conviction by Fingerprint Evidence. Golden Gate University Law Review. 2006 ; **37**(1): 39-105.
- 58) Haber L & Haber R. Scientific validation of fingerprint evidence under Daubert. Law, Probability and Risk. 2008 ; **7**(2) : 87-109.
- 59) Haber L. & Haber RN. Experiential or scientific expertise. Law Probability and Risk. 2008 **7**(2) : 143-150.
- 60) Harmon R, Budowle B, Langenburg G & Houck MM. Letters : Questions About Forensic Science (with response). Science . 2006 ; **311**(3 February): 607-610.
- 61) Saks MJ & Koehler JJ. The Coming Paradigm Shift in Forensic Identification Science. Science. 2005 ; **309** (5 August 2005) : 892-895.
- 62) Zabell SL. Fingerprint Evidence. Journal of Law and Policy. 2005 ; **13**(1) : 143-179.

Chapitre 9. Les microsatellites¹ au service de la justice

S. Valade

1. Introduction

L'analyse scientifique occupe une place sans cesse plus importante dans l'enquête criminelle, notamment depuis la vulgarisation des techniques de détermination de l'ADN² (Acide Désoxyribo Nucléique) et le développement des outils de biologie moléculaire³. La génétique judiciaire est sans aucun doute de toutes les disciplines, celle dont les progrès ont le plus profité à la criminalistique.

Quel est donc le rôle de l'analyse génétique, son importance et ses limites dans le domaine judiciaire.

Tout individu laisse des traces biologiques dans notre environnement. Dans le cadre d'une affaire judiciaire, les traces et indices biologiques laissés par l'auteur ou la victime doivent être suffisamment discriminants pour être utilisés comme outil d'identification et de comparaison. La notion de variabilité entre personnes, ou « polymorphisme », intéresse donc depuis longtemps les spécialistes en biologie judiciaire.

La molécule d'ADN répond à trois principes fondamentaux indispensables pour son utilisation en criminalistique : unicité, stabilité et reproductibilité. L'ADN⁴ *nucléaire* d'une personne est présent et identique dans le noyau de toutes les cellules de son organisme (excepté dans les globules rouges) durant toute son existence.

L'analyse du lien matériel entre les traces et indices laissés par l'auteur des faits et la victime est toujours comparative. En effet, l'analyse de l'ADN recueilli à partir de différents supports, sur les lieux, prend toute son importance quand les ADN des suspects appréhendés leur sont comparés.

Calqué sur le fichier des empreintes digitales et à l'instar des pays européens nait en France l'idée d'un fichier des empreintes génétiques. Celui-ci permet la comparaison non seulement entre une trace et l'auteur dans le cadre d'une enquête, mais en rapprochant les caractéristiques génétiques du prélèvement de ceux d'une base de données nationales. Ce fichier permet outre la comparaison trace/suspect, un élargissement de l'investigation d'une enquête en cours par des comparaisons de type personne/personne, trace/trace ou trace/personne en dehors de toute notion de temps et de lieu.

La méfiance suscitée par l'exploitation de l'ADN impose la mise en place d'un cadre juridique strict qui notamment définit les régions d'ADN à analyser afin d'homogénéiser les données transmises au fichier par les différents laboratoires experts et permet ainsi l'échange de données.

¹ Un microsatellite est une séquence d'ADN formée par la répétition continue de motifs de 2 à 10 nucléotides.

² ADN (acide désoxyribonucléique) : un des constituants essentiel des chromosomes, support moléculaire de l'information génétique. Le contenu de cette information est le « code » de synthèse des protéines de l'organisme. La molécule d'ADN est composée de 2 chaînes complémentaires formées par l'enchaînement de nucléotides. Les gènes sont des segments d'ADN.

³ Biologie moléculaire : étude des molécules porteuses du message héréditaire (ADN, ARN), de leur structure, leur synthèse, leurs altérations (mutations) ou leurs transformations

⁴ ADN nucléaire : ADN du noyau des cellules, l'extraction de l'ADN nucléaire permet d'obtenir un génotype (ADN autosomal).

2. Les textes législatifs et réglementaires

Les textes législatifs et réglementaires qui encadrent les expertises génétiques réalisées par les laboratoires ne peuvent être cités sans mentionner en parallèle ceux qui encadrent le FNAEG (Fichier National automatisé des Empreintes Génétiques).

- Ils indiquent dans quel cadre il est possible de réaliser ce type d'études.
- Ils organisent l'habilitation des experts à procéder aux analyses et à des identifications par empreintes génétiques.
- Ils précisent sur quelles parties de l'ADN doivent porter les recherches.
- Ils précisent le fonctionnement du FNAEG,
- Ils instituent les modalités de la coopération internationale et des échanges d'informations.

Ils sont présentés de façon détaillée dans l'encadré ci-dessous avec accès aux textes législatifs et réglementaires relatifs aux expertises génétiques en ligne.

Le conseil de l'Europe a eu la première initiative par la Recommandation R(92)1 du comité des Ministres aux états membres sur l'utilisation des analyses de l'ADN dans le cadre du système de justice pénale, adoptée le 10 février 1992 [1]. Cette recommandation trace les grandes lignes de ce qui sera les fondements de la loi N° 94-653 du 29 juillet 1994 [2], relative au respect du corps humain. Cette dernière fixe les conditions d'application des empreintes génétiques en matière pénale et civile et prévoit dans son article 16-12 que seules sont habilitées à procéder à des identifications par empreintes génétiques, les personnes ayant fait l'objet d'un agrément dans des conditions fixées par décret en Conseil d'Etat.

Ainsi, paraît le 6 février 1997, ce qui constitue la première version du décret n° 97-109 énonçant les conditions d'agrément des personnes habilitées à procéder à des identifications génétiques dans le cadre d'une procédure judiciaire [3].

Une commission chargée d'agrément ces personnes est instituée auprès du Garde des Sceaux, Ministre de la Justice. Elle est présidée par un magistrat de la Cour de Cassation et est composée de dix membres, six siégeant en raison de leurs fonctions et quatre désignés pour une durée de trois ans, en raison de leur compétence dans le domaine de la biologie moléculaire.

- La loi n° 98-468 du 17 juin 1998, porte création du Fichier National Automatisé des Empreintes Génétiques (FNAEG) mais limite son usage aux infractions sexuelles et aux atteintes sur mineurs [4].
- Le décret 2000-413 du 18 mai 2000 précise que les résultats des analyses enregistrées ne peuvent porter que sur des régions non-codantes, il définit la durée de conservation des données ainsi que le devenir des échantillons [5].
- L'Arrêté du 18 mai 2000 fixe la liste des segments d'ADN sur lesquels portent les analyses génétiques pratiquées aux fins d'utilisation du fichier national des empreintes génétiques (article A38 du Code de Procédure Pénale, CPP) parmi lesquels figurent les sept loci constituant le standard de référence européen ESS (European Standard Set) auxquels est adjoint le gène de l'amélogénine⁵ [6].
- La loi 2001-1062 du 15 novembre 2001 relative à la sécurité quotidienne élargit le champ d'application du FNAEG, on y inclut aussi les condamnés pour crimes d'atteintes graves aux personnes (homicides volontaires, violences et destructions criminelles, crimes de terrorisme...) [7].
- Afin de tenir compte des derniers développements technologiques et accroître le pouvoir discriminant des analyses, et par là-même des rapprochements opérés par le FNAEG, l'arrêté du 14 février 2002 révisé l'article A38 du CPP et adjoint à la première liste, constituée désormais de segments d'ADN obligatoires, une seconde comprenant des marqueurs optionnels. Il porte ainsi le nombre de loci à 18 [8].

⁵ Amélogénine : segment d'ADN ou locus correspondant au marqueur du sexe localisé sur les chromosomes X et Y.

- Le décret n° 2002-931 du 11 juin 2002 modifiant le décret n° 97-109 du 6 février 1997 octroie à la commission, un rôle de conseil auprès du FNAEG et révisé la liste des diplômés ouvrant droit à l'agrément [9].
- La loi 2003-239 du 18 mars 2003 pour la sécurité intérieure prévoit l'élargissement du FNAEG qui regroupe désormais la quasi-totalité des crimes et délits d'atteinte aux personnes et aux biens. Elle autorise l'inscription des profils génétiques d'une nouvelle catégorie de personnes : les personnes disparues (articles 74, 74-1 et 80-4 du CPP) [10].
- Le Décret n° 2004-471 du 25 mai 2004 modifiant le décret n° 97-109 du 6 février 1997 intègre la nouvelle catégorie de personnes agréées habilitées à établir le profil génétique d'un individu en vue de son intégration au FNAEG. Celles-ci ne peuvent procéder à des identifications, à proprement parler puisqu'elles ne sont pas autorisées à procéder à des comparaisons [11].
- La loi du 9 mars 2004 portant adaptation de la justice aux évolutions de la criminalité, introduit la possibilité d'utiliser du matériel biologique naturellement détaché du corps de l'intéressé comme matériel de référence dans l'éventualité où un prélèvement ne serait pas opérable. Elle ajoute en outre de nouvelles pénalités en cas de substitution, ou tentative de substitution, de matériel biologique et prévoit le retrait de toutes réductions de peines lorsque ces infractions sont commises par les personnes condamnées [12].
- Décret n° 2004-470 du 25 mai 2004 modifiant le code de procédure pénale (deuxième partie : décrets en Conseil d'Etat) et relatif au FNAEG. Il incrémente les nouvelles dispositions introduites par les lois de 2003 et 2004, notamment l'enregistrement ou la comparaison de profils ADN transmis par des organismes de coopération policière ou de services de police étrangers, introduits par l'article 24 de la loi pour la sécurité intérieure [13].
- Dans l'arrêté du 23 octobre 2006 fixant la liste des segments d'ADN sur lesquels portent les analyses génétiques pratiquées aux fins d'utilisation du FNAEG : l'analyse des segments alors optionnels, prend un caractère obligatoire et un nouveau locus fait son apparition en vue, notamment, d'échanges de données avec l'Allemagne et l'Autriche. (Décision 2008/615/ JAI du Conseil de l'Union européenne du 23 juin 2008 relative à l'approfondissement de la coopération transfrontalière, notamment en vue de la lutte contre le terrorisme et la criminalité transfrontalière). Ce décret renforce le système d'échange de données entre états membres dans le cadre de la prévention et de la poursuite des infractions pénales. Ce texte organise, notamment, les conditions et procédures applicables au transfert automatisé des profils ADN [14].

3. L'ADN : où chercher ?

Tout individu laisse son ADN un peu partout : sur une brosse à dent, un mégot, ou encore dans un cheveu pris dans les mailles d'un bonnet, encore plus systématiquement dans le sang, le sperme et même dans les cellules contenues dans ses empreintes digitales.

L'expertise en génétique judiciaire débute par l'identification des traces humaines avant de procéder aux analyses génétiques.

3.1. Recherche de sang

3.1.1. Principe

Bien que reconnaissable par leur couleur (rougeâtre à brunâtre), les traces de sang peuvent être confondues avec des traces de teintes analogues. L'analyse de sang commence toujours par un examen minutieux à l'œil nu des scellés souillés, en décrivant la « morphologie » des taches : produits d'essuyage, giclées,

traînées, gouttelettes, empreintes de pas, etc. Cet examen conditionne leur prélèvement. Une fois prélevée, la tache est soumise à la vérification systématique de la présence de sang à l'aide de tests chimiques.

Les tests de mise en évidence de sang en criminalistique sont basés sur les propriétés *peroxydasiques* de l'hémoglobine du sang. Les peroxydes sont des composés chimiques toxiques pour les tissus humains, ils sont donc décomposés par l'hémoglobine du sang (figure 1).

L'eau oxygénée est décomposée par l'activité peroxydasique⁶ de l'hémoglobine.

L'oxygène ainsi libéré oxyde un substrat incolore sous forme réduite mais coloré ou luminescent sous forme oxydée.

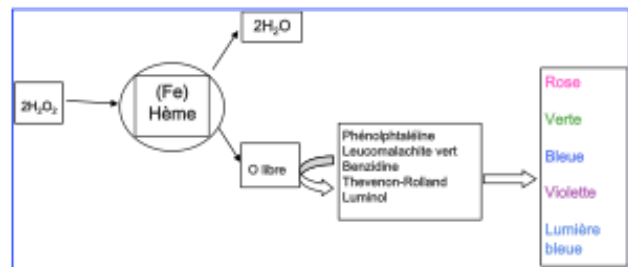


Figure 1 test de mise en évidence du sang

3.1.2. Les réactifs : Méthodes

3.1.2.1. Le luminol

Le test au luminol utilise le 3-aminophthalylhydrazide ; une réaction positive se traduit par une chimiluminescence avec un éclat bleu.

Le luminol est utilisé sur les scènes d'infraction pour repérer des traces de sang nettoyées ou essuyées. Par pulvérisation de la surface d'intérêt, la luminescence révèle l'emplacement du sang. Plus récemment a été développé le BlueStar, réactif chimique à base de luminol dont certaines propriétés ont été améliorées [15] (l'obscurité complète n'est plus nécessaire, il est stable pendant plusieurs jours après sa préparation...) [16 ; 17 ; 18]. En théorie, ni le luminol ni le BlueStar n'interfèrent pour les analyses génétiques ultérieures. En pratique, les analyses génétiques entreprises à partir des prélèvements effectués après révélation par le luminol ou le BlueStar, sont le plus souvent négatives. Dans certains cas, il est possible que la quantité d'ADN recueilli soit trop faible pour être révélée, mais il est également envisageable que l'action de pulvérisation puisse entraîner un « nettoyage » de la surface et limite ainsi les possibilités de prélèvement significatif ultérieur.

3.1.2.2. Les autres tests

- Le test d'Adler utilise la benzidine ; une réaction positive se traduit par l'apparition d'une coloration bleue. Ce produit connu pour être carcinogène a été abandonné par la plupart des laboratoires.
- Le test Kastle-Meyer (KM) utilise la phénolphtaléine qui donne une intense coloration rose.
- Le test au leuco-malachite Vert (LMV) utilise la 4'-benzylidene bis N,N-diméthylaniline qui donne une coloration verte.
- Le test de Thevenon-Rolland utilise la 4-diméthylaminoantipyrine qui donne une coloration violette.

⁶ Activité peroxydasique : activité enzymatique qui coupe les peroxydes.

Ces tests sont utilisés depuis de nombreuses années dans les laboratoires de « biologie criminelle », et ont largement fait leur preuve. La sensibilité et la spécificité des réactifs utilisés varient selon les études, probablement en raison de l'utilisation de produits différents, voire de concentrations des réactifs ou de méthodes différentes de préparation. Néanmoins, ces tests sont sensibles et requièrent très peu de matière. Selon Cox [19] qui a comparé quatre tests d'orientation : tétraméthylbenzidine, orthotolidine, leuco-malachite vert et phénolphtaléine, la phénolphtaléine serait le test le plus sensible (1 : 10000 c'est-à-dire : 1 goutte de sang ajoutée à 10 000 gouttes d'eau positive le test). Une étude plus récente [20] évaluant 6 tests différents de recherche du sang, montre que le luminol est le plus spécifique et le plus sensible des réactifs utilisés. Le LMV est également spécifique mais 10 fois moins sensible. La phénolphtaléine est de sensibilité équivalente mais moins spécifique, le BlueStar est décrit comme sensible mais peu spécifique. Compte tenu de la variabilité des conclusions de ces tests et pour éviter les *faux positifs* (*rouille, certaines lessives, eau de javel...*), il est d'usage d'utiliser au moins deux réactifs. Pour valider le résultat et conclure à la présence de sang, les deux réactions doivent être positives.

Ces tests de recherche du sang s'utilisent en cupule ou en tube et s'appliquent à des micro échantillons soit indirectement par transfert de la substance rougeâtre sur un écouvillon stérile humidifié, soit directement à partir d'un fragment de l'échantillon ; une fibre de vêtement suffit (figure 2).

Ils ne sont pas spécifiques de l'hémoglobine humaine, et d'autres tests doivent être mis en œuvre pour différencier son origine humaine ou animale



Figure 2
Recherche de sang, exemples de résultats par les tests de Kastel-Meyer, Thevenon-Roland et LMV. Ces tests, non spécifiques de l'hémoglobine humaine, sont complétés pour différencier l'origine humaine ou animale.

3.2. Détermination de l'origine humaine du sang :

La détermination de l'origine humaine du sang est basée sur des méthodes immunologiques, par la formation d'un complexe antigène-anticorps entre l'hémoglobine issue des échantillons et un anticorps anti-hémoglobine humaine. On utilise actuellement des méthodes immuno-chromatographiques au moyen de bandelettes à lecture directe. [21] Plusieurs trousse (kits) sont disponibles comme par exemple « l'hémoglobine rapid Test HRT de VEDA LAB, ou le test Hexagon OBTI de Human » (figure 3) [22 ; 23].

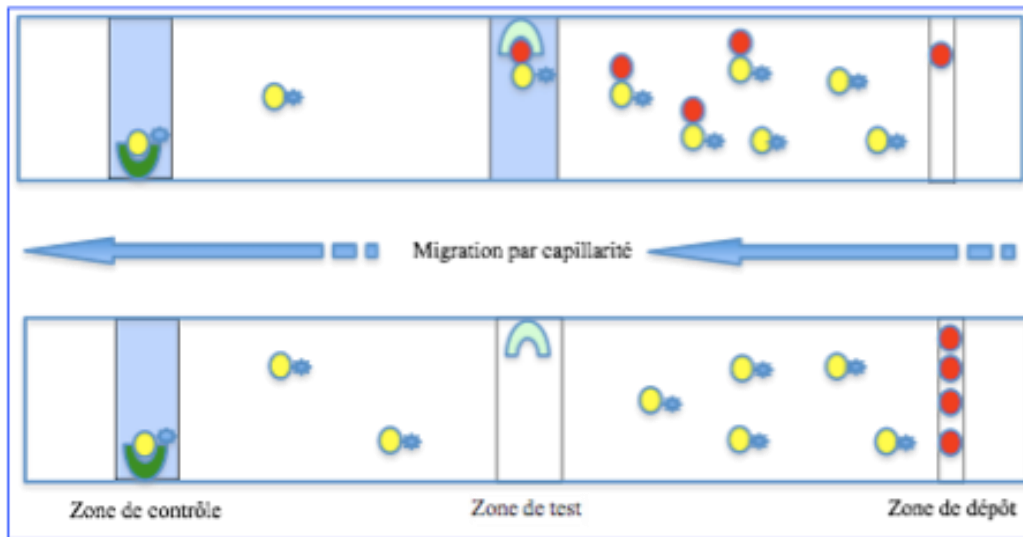


Figure 3 Schéma de principe du test de détermination de l'origine humaine du sang

L'échantillon est déposé sur le support du test. L'hémoglobine humaine (rond rouge) réagit avec les anticorps monoclonaux anti-hémoglobine humaine (AC1) (rond jaune) conjugués à des particules bleues. Les complexes ainsi formés migrent et réagissent avec un deuxième anticorps anti-hémoglobine humaine (arc vert clair) : l'apparition d'une ligne bleue dans la zone test indique un résultat positif. L'excès de réactif migre vers une seconde ligne pour réagir avec d'autres anticorps (vert foncé) anti-AC1. Cette ligne, représentant le témoin, lorsqu'elle devient bleue elle indique le bon fonctionnement du test. La réaction est donc positive quand les deux lignes sont bleues (bandelette supérieure). La réaction est négative quand seule la zone de contrôle est bleue (bandelette inférieure)

Cette détermination n'est pas réalisée systématiquement car les analyses génétiques mises en œuvre sont spécifiques de l'ADN humain.

Toutefois, elle peut s'avérer intéressante, en présence d'une quantité importante de sang sur un scellé (un drap, un écouvillon, une lame de couteau...) mais pour lequel aucun résultat génétique n'a été obtenu. Ce sang peut être soit dégradé soit d'origine animale. Il convient alors de le vérifier.

3.3. Recherche de sperme

Cette recherche s'effectue sur les scellés transmis dans le cadre d'affaires d'agressions à caractères sexuels.

La caractérisation d'une tache de sperme se fait en 2 temps :

- examen d'orientation pour visualiser la tache
- examen de certitude mettant en évidence les spermatozoïdes

3.3.1. Examen d'orientation, mise en évidence de phosphatase acide



Les taches de sperme sont rarement visibles à l'œil nu. Un test chimique est mis en œuvre pour les visualiser et les localiser. Il consiste à mettre en évidence les phosphatases acides qui sont sécrétées en majeure partie dans le liquide séminal (400 fois plus que dans d'autres liquides biologiques) [24] et seulement en faible proportion dans le sang.

Principe :

Les phosphatases acides sont des enzymes produites par la glande prostatique (PAP). Elles catalysent les réactions de décomposition des composés du phosphate. Cette propriété est utilisée pour la détection de liquide spermatique. Le substrat utilisé est l'alpha-naphthylphosphate couplé à l'orthodianisidine comme révélateur.

La recherche n'est pas faite directement sur la pièce à analyser (figure 4.1.)

Par exemple, pour un vêtement, on réalise une « empreinte » en le pressant entre deux feuilles de papier absorbant humidifiées (1, 2, 3).

Les phosphatases acides éventuellement présentes sont alors partiellement transférées sur le papier absorbant.

Elles sont révélées en vaporisant une solution acide d'alpha naphthylphosphate de sodium et de colorant Fast Bleu B (4).

En présence de phosphatases acides, on observe une coloration violette (5) sous forme de gouttes, taches ou zones violettes sur le papier absorbant.

L'empreinte sur le papier permet par analogie de localiser les taches suspectes sur le vêtement lui-même (6). Prélèvement pour confirmation cytochimique (7) (Figure 4.2.).

Résultats :

L'examen d'orientation est une technique qui a largement fait ses preuves, le transfert sur papier filtre permet :

- de localiser des taches de sperme sur de grandes étoffes comme des draps, des housses de canapé...
- de travailler de manière exhaustive sur l'ensemble des pièces à conviction sans les altérer.
- de détecter des taches de sperme sur des tissus de couleur sombre ou foncé ou supportant des motifs qui ne permettent pas de les percevoir.

Limites :

Bien que d'apparence simple, la lecture des résultats requiert une expérience certaine et de la prudence car la réaction peut s'avérer faussement positive en présence de certaines moisissures, jus de fruits, crèmes contraceptives ... La vitesse d'apparition de la réaction et sa couleur sont importantes à surveiller :

- un délai inférieur à 30 secondes est en faveur de la présence de sperme, une vitesse d'apparition plus lente conduit à une réserve sur les résultats jusqu'au contrôle ultérieur.
- en présence d'autres types de sécrétions biologiques (vaginales), les taches apparaissent plus roses que violettes.

C'est la raison pour laquelle un examen de certitude est systématiquement mis en œuvre à partir des zones révélées comme positives au test d'orientation afin de confirmer ou infirmer la présence de spermatozoïdes en microscopie optique.

3.3.2. Examen de certitude : recherche de spermatozoïdes

La confirmation de la présence de sperme requiert la mise en évidence de spermatozoïdes par coloration cytochimique.

Les spermatozoïdes sont constitués : d'une tête de forme ovale avec un contour régulier, d'un corpuscule intermédiaire et d'un flagelle. Compte tenu de leur longueur, comprise entre 50 et 70 microns, il faut au minimum un microscope optique pour les visualiser.

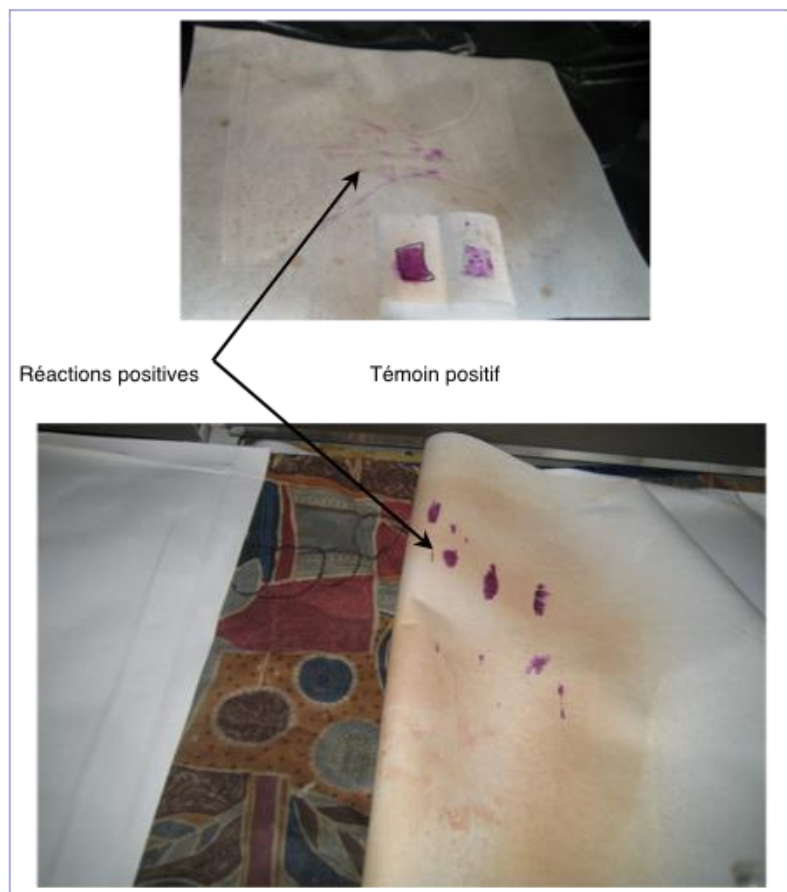


Figure 4.2. Exemple de réactions de révélation de spermatozoïdes positives

Mode opératoire : Un fragment des taches suspectes est prélevé, mis à macérer dans du liquide physiologique. Une goutte de macérat est déposée entre lame et lamelle (frottis) et observée au microscope optique après fixation, coloration et séchage. Il est fait appel à des colorations cytochimiques différentielles ou spécifiques. Les premières recourent au *Christmas tree* (les cellules épithéliales sont colorées en vert et le noyau en rouge, les spermatozoïdes en rouge et les flagelles en vert) ou à la coloration *d'Isaac et Wurch* (les cellules apparaissent colorées en bleu ou en rouge et le noyau en violet, les têtes des spermatozoïdes sont colorés en violet mais la coloration violette est moins intense au niveau de l'acrosome (figure 5)).

Les secondes peuvent faire appel à l'érythrosine qui colore l'acrosome⁷. L'interprétation du frottis s'appuie sur plusieurs variables qu'il convient d'identifier : aspect morphologique, taille et coloration.

Chaque millilitre de liquide séminal renferme au minimum 100 millions de spermatozoïdes. Sachant qu'habituellement un homme émet 2.5 à 6 millilitres de liquide séminal par éjaculat, on pourrait donc penser que la détection de spermatozoïdes sur un frottis ne pose aucun problème.

En réalité, au cours des affaires traitées en criminalistique, on ne distingue le plus souvent que peu de spermatozoïdes sur la lame car lorsqu'ils sont liés aux fibres d'un vêtement, ils sont fragilisés lors du séchage. Par ailleurs, d'une part la mise en suspension de la tache dans du liquide physiologique stérile dont une seule goutte est exploitable au microscope, ne permet pas le relargage de leur totalité. D'autre part, dans les prélèvements gynécologiques effectués sur une victime, réalisés plusieurs heures voire plusieurs jours après les faits de viol, en dépit de la durée de vie des spermatozoïdes dans les voies génitales (approximativement trois jours), leur quantité décline avec le délai d'observation. Il convient d'être prudent lors de la lecture de la lame microscopique car c'est une opération délicate dont la maîtrise est indispensable. En effet la reconnaissance des spermatozoïdes et l'estimation de la quantité de spermatozoïdes conditionnent la suite du processus analytique.

Pour certains hommes qui ne possèdent que peu ou pas de spermatozoïdes dans leur liquide séminal (oligospermie ou azoospermie), le profil génétique peut cependant être caractérisé car il existe d'autres cellules dans le liquide séminal pouvant révéler le caractère masculin. La stratégie d'analyse consiste alors en une **analyse génétique systématique** quand un test d'orientation est positif et une recherche de spermatozoïde, négative.

3.4. La recherche de salive : mise en évidence d'alpha-amylase⁸

A l'instar de la technique d'orientation pour la recherche de sperme, une technique a été développée pour détecter des traces de salive. Si leur localisation est souvent évidente (sur une cagoule par exemple au

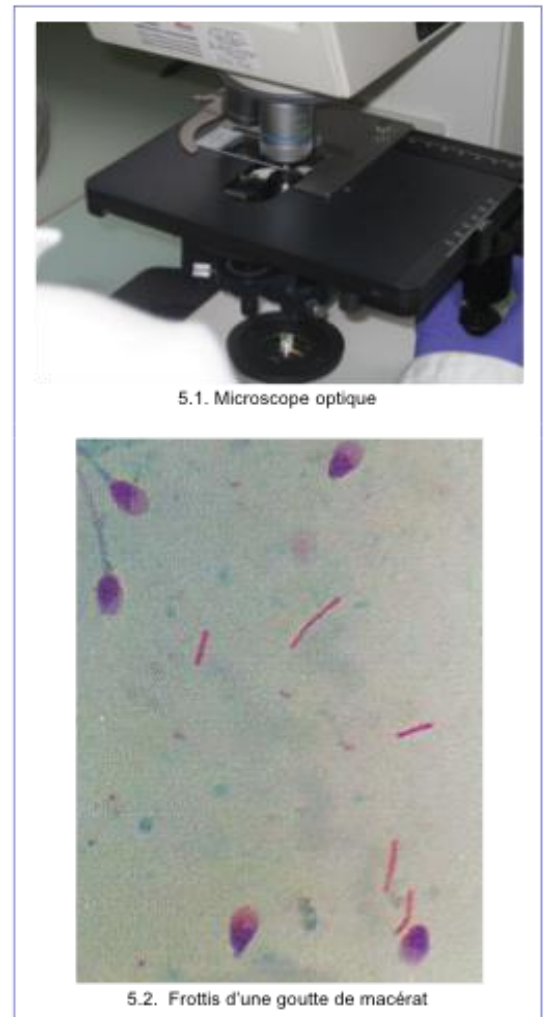


Figure 5 Spermatozoïdes observés au microscope optique

⁷ Acrosome : enveloppe recouvrant la tête du spermatozoïde et libérant les enzymes permettant sa pénétration dans l'ovule.

⁸ L'alpha-amylase est présente chez tous les êtres vivants, elle digère les liaisons osidiques et catalyse l'hydrolyse de l'amidon en maltose et en dextrines. Les concentrations de l'alpha-amylase dans certains fluides biologiques sont : salive = 263000 to 376000 IU/L ; urine = 263 to 940 IU/L ; sang = 110 IU/L ; sperme = 35 IU/L.

niveau de la bouche) elle est moins immédiate dans le cas d'un morceau de tissu utilisé comme bâillon de camouflage ou d'un bas utilisé comme cagoule.

Principe : La technique de choix pour la caractérisation des traces de salive sur un support est la détection de l'amylase, enzyme dont la salive est riche. Pour cela, le test simple *Phadebas*TM distribué par *Pharmacia diagnostics* peut être utile. Il s'agit de microsphères d'un polymère d'amidon insoluble couplé à un chromophore bleu (teinture bleue de Cibacron) qui est libéré sous l'action de l'amylase. On distingue deux types d'amylase : l' α amylase et la β amylase, c'est l' α amylase qui est révélée par le test *Phadebas*TM [25].

Mode opératoire : Une empreinte par transfert est mise en œuvre de la même manière que pour la recherche de phosphatases acides pour localiser les zones positives sur un scellé. La vaporisation de réactif est remplacée par l'imprégnation préalable de feuilles de papier absorbant par le réactif *Phadebas*TM (figure 6).

En présence d'amylase, l'amidon est digéré et le colorant bleu soluble dans l'eau est libéré et diffuse à travers les pores du papier filtre en formant des auréoles bleu clair caractéristiques.

L'amylase existe dans d'autres liquides biologiques comme l'urine, le sang, le sperme les sécrétions nasales et la sueur, mais à des concentrations très inférieures à celle présente dans la salive et généralement en dessous du seuil de détection du test *Phadebas*TM

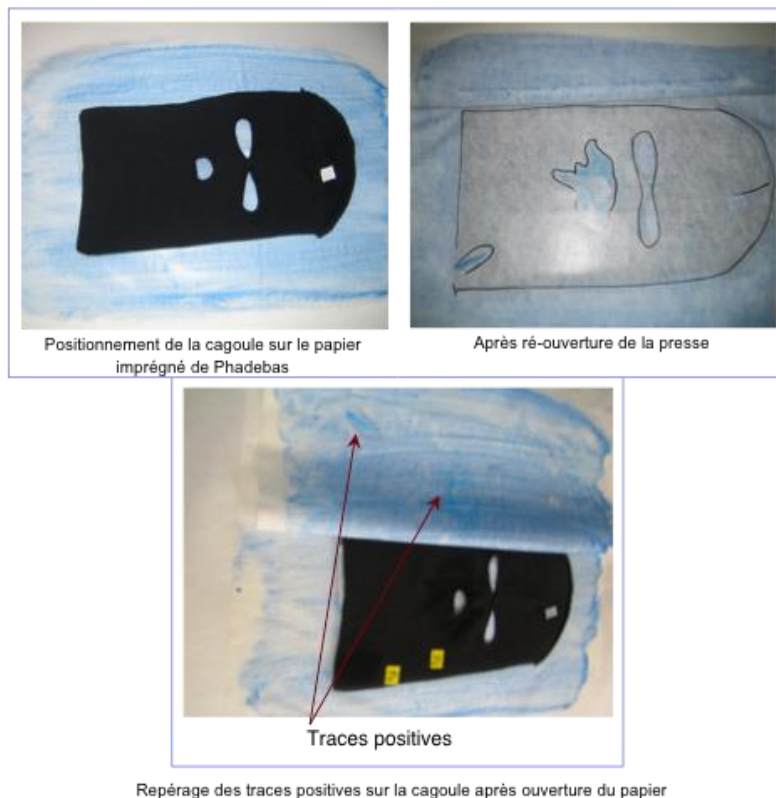


Figure 6 Recherche de trace de salive sur une cagoule et révélation de traces positives après la mise en œuvre du test d'orientation

3.5. Utilisation de sources lumineuses à différentes longueurs d'onde



Figure 7 Appareil Mini-Crimescope 400w

Les techniques d'orientation traditionnelles peuvent être substituées par des sources lumineuses pour révéler des traces biologiques non visibles à l'œil nu par fluorescence. Les objets sont examinés à l'aide de détecteur générateur de lumière de longueurs d'ondes monochromatiques de type « Crime-lite », ou de générateurs à réseau offrant un choix multiple de longueurs d'ondes (Ultraviolet Visible ou Infra rouge) de type type « Polilight ou mini-Crimescope 400 w ». Ces générateurs de lumière sont généralement dotés d'un guide de flux lumineux flexible (figure 7) [26].

Sur une scène de crime, l'utilisation de sources lumineuses est adaptée à la détection des traces d'origine biologique sur des supports non transportables ou difficilement transportables en laboratoire comme des canapés, banquette de voiture, tapis, tente.... En laboratoire, leur emploi permet de cibler des zones de fluorescence suspectes que l'on extrait du support pour procéder à leur analyse génétique. La nature de la tache biologique ne peut pas être déterminée directement par observation d'une fluorescence mais un test d'orientation mis en œuvre à partir de la zone suspecte contribue à cette caractérisation. Il existe cependant des faux positifs notamment avec certains supports textiles.

3.6. Les traces dites « de contact »

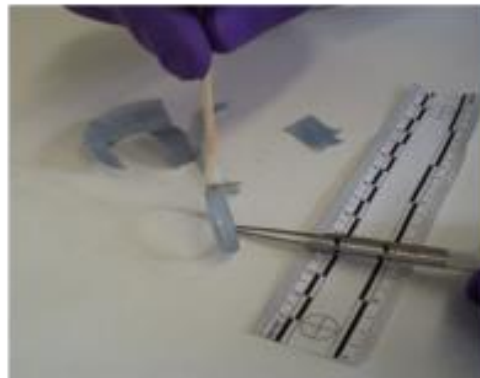
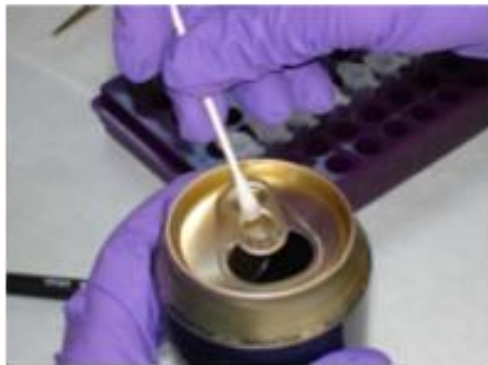
Les prélèvements de ces traces se font à l'aide d'écouvillons humectés d'eau stérile (figure 8). Ils peuvent être classés en deux catégories :

- Les prélèvements dits « en aveugle » effectués par frottement des « zones d'intérêt » à l'aide d'écouvillons stériles humidifiés. Il s'agit des zones susceptibles de supporter des cellules laissées par contact sur des objets (stylos, lunettes, gants, chaussures, col et poignets d'un vêtement cordes, etc.) et choisies judicieusement par l'analyste. L'extraction de l'ADN aura lieu ultérieurement à partir de ces écouvillons.
- Les prélèvements dits « ciblés » intervenant après la révélation chimique de traces papillaires au cyanoacrylate ou à la ninhydrine. Des essais ont révélé que ces réactifs sont compatibles avec l'analyse génétique. Que les traces papillaires révélées soient exploitables ou non en termes d'empreintes digitales, elles peuvent être exploitables (même s'il s'agit simplement de crêtes épidermiques révélées) pour une analyse génétique. Sur une lettre par exemple, la mise en évidence de traces papillaires permet à l'expert de « cibler » les prélèvements à effectuer.

3.7. Les éléments pileux



8.1 écouvillon



8.2 Quelques exemples de prélèvements

Figure 8 Prélèvements de traces à l'aide d'écouvillons stérile

Les éléments pileux impliquent un nombre représentatif de tests donc de capillaires de référence et ce pour autant de chevelures que de suspects potentiels. En dépit de ce « travail de bénédictin », l'analyse n'aboutit jamais à des conclusions formelles.

L'abandon de ces techniques est progressivement quasi général depuis l'apparition des analyses génétiques. Néanmoins, en présence de nombreux éléments pileux trouvés sur les lieux d'une scène d'infraction, un tri préalable doit être réalisé sur la base de l'examen morphologique.

Cet examen permet de différencier les fibres textiles, des poils animaux et des éléments pileux humains. Les analyses génétiques, pour essentielles qu'elles soient devenues, ne présentent pas d'intérêt si on ne s'est pas assuré du caractère humain de l'indice expertisé. Un examen macroscopique des éléments pileux prélevés soit sur un vêtement soit isolément sur une scène de crime, est donc préalablement indispensable pour observer la couleur, la longueur, la forme, la présence ou non du bulbe⁹ dont la morphologie diffère selon sa phase d'activité (anagène, catagène ou télogène). Les éléments pileux sont ensuite nettoyés, montés entre lame et lamelle et observés au microscope optique pour un examen plus fin (figure 9).

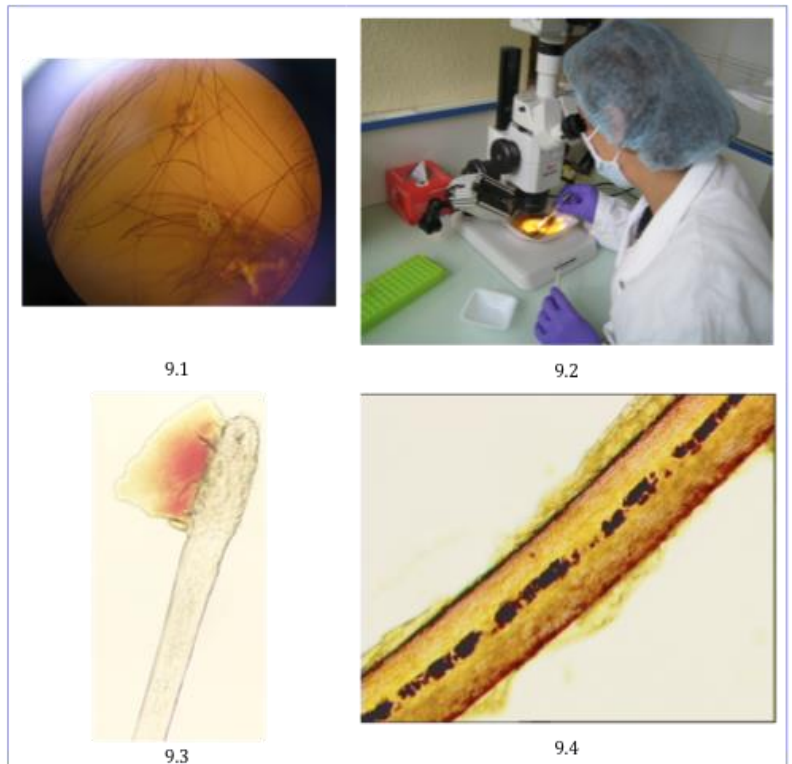


Figure 9 Observation d'éléments pileux ou fibreux à la loupe binoculaire et au microscope optique

On observe :

- La tige : diamètre, couleur, concentration des pigments (leur couleur et leur répartition le long de la tige), présence ou absence de médulla (moelle) et sa répartition (continue, discontinue ...)
- La racine : le cheveu¹⁰ est-il arraché, coupé ou tombé ?

En présence du *bulbe* – quel que soit son stade de maturation - une analyse génétique de l'ADN nucléaire est effectuée.

3.8. Les ongles

Pour une victime en particulier vivante ou pour un suspect, il convient de réaliser tout prélèvement avant tout traitement notamment lavage des mains. Le caractère très informatif de l'analyse des ongles, contrairement, ne suscite pas l'adhésion qu'il justifierait pourtant des experts. En effet, la simple observation systématique à fort grossissement à la loupe binoculaire de ces phanères coupés, peut révéler la présence de sang sur les ongles d'une victime. Cette découverte oriente l'analyste vers la bonne zone de prélèvement pour la récupération éventuelle de cellules pouvant appartenir à une tierce personne. Il permet en outre de dévoiler la présence possible d'éléments pileux, de fibres, débris de verre, ou autre... Les prélèvements sont comme précédemment exécutés à l'aide d'écouvillons stériles humidifiés.

⁹ Bulbe : racine du cheveu. C'est à partir du bulbe qu'on procède à l'analyse de l'ADN nucléaire. L'analyse de l'ADN mitochondrial qui peut être mise en œuvre à partir de la tige du cheveu, n'est pas décrite dans ce chapitre.

¹⁰ L'activité du cheveu comporte 3 phases : croissance (anagène), régression (catagène) et repos (télogène). La phase anagène (la racine est alors en forme de crochet) est la plus propice à l'analyse de l'ADN nucléaire. Les deux autres phases, les plus couramment rencontrées, sont parfois difficiles à différencier (racine en forme de massue). La phase télogène (cheveu tombé ou presque) est la moins propice aux analyses génétiques.

3.9. Autres matières biologiques : urine, fèces...

Il est rarement demandé de rechercher ou de vérifier la présence d'urine ou de matières fécales sur des pièces à conviction. Si cela s'avère nécessaire l'expert peut recourir à des tests chimiques. La recherche d'urine sur un scellé (literie) se traduit par la détection de deux composés majeurs de l'urine : l'urée et la créatinine. Parmi les nombreux moyens possibles, le plus fréquemment utilisé est le « test indicatif au DMAC » (paradiméthylamino-cinnamaldéhyde) ; le DMAC réagit avec l'urée en milieu acide pour donner une coloration rose violacée. Toutefois l'urée ainsi que des polyamines contenues dans de nombreux milieux biologiques (sperme, lait, sécrétions vaginales...) positivent la réaction. L'un des moyens d'éviter les faux positifs est de diminuer la concentration du DMAC à 0.005%, mais dans ce cas des urines très diluées peuvent échapper à la détection. C'est pourquoi la recherche d'urée est couplée à celle de la créatinine qui peut être détectée par la réaction classique de Jaffé à l'acide picrique en milieu basique, qui donne avec la créatinine un produit de couleur orangé.

En présence de traces ou taches marron sur un scellé, il faut parfois vérifier qu'il s'agit de matières fécales. Pour cela, une observation microscopique est tout d'abord réalisée. Elle permet de vérifier la présence de résidus de débris alimentaires, bactéries intestinales... Elle est suivie d'un test de recherche d'urobilinogène ; quand la bilirubine atteint l'iléon terminal et le côlon, elle est réduite en urobilinogène par les bactéries intestinales. La plupart des urobilinogènes incolores formés dans le colon par la flore fécale, sont oxydés en urobiline (composés colorés) responsable de la couleur des matières fécales.

Après ces étapes de recherche et d'identification de traces humaines, les analyses génétiques sont réalisées.

4. L'analyse génétique :

Pourquoi la molécule d'ADN est-elle si informative ?

Le corps humain est constitué de milliards de cellules. Chaque cellule possède dans son noyau le même matériel génétique réparti au sein de 46 chromosomes¹¹; 22 paires d'autosomes¹² et une paire de chromosomes sexuels (XX ou XY). L'ADN qui les constitue est une molécule complexe composée de deux brins qui s'enroulent l'un sur l'autre à la manière d'une torsade. Sa structure ressemble à une échelle en spirale dont les barreaux seraient formés d'une succession de paires de bases azotées¹³ constituant principal des nucléotides¹⁴. Il

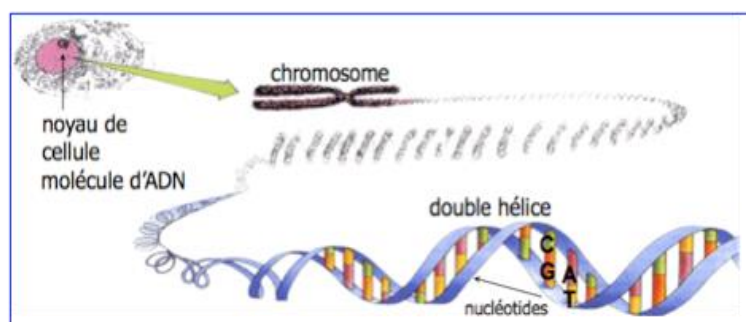


Figure 10 De la cellule à l'ADN

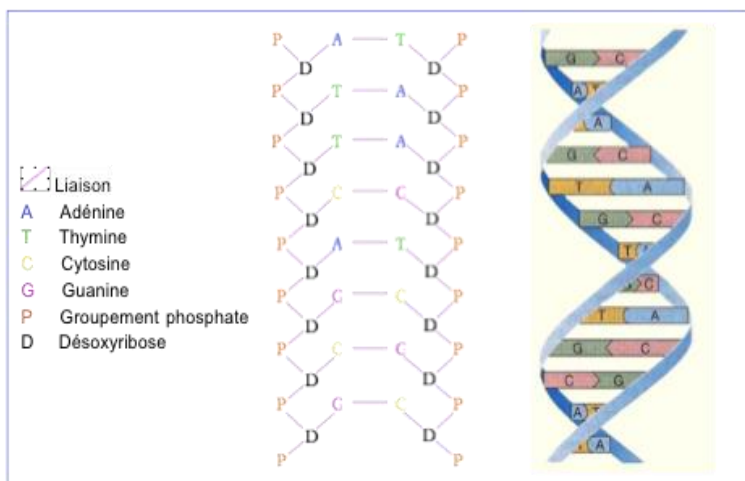
n'existe que 4 bases azotées (l'adénine : A, la thymine : T, la cytosine : C, la guanine : G). Les montants de cette échelle sont composés d'acide phosphorique et de désoxyribose. Il y a environ 3 milliards de *paires de bases* dans le génome humain (Figure 10).

¹¹ Chromosome : unité physique de matériel génétique correspondant à une molécule continue d'ADN. Les cellules eucaryotes (possédant un noyau individualisé) comportent plusieurs chromosomes dont la substance de base est la chromatine (association d'ADN et d'histones) ; les cellules bactériennes n'en comportent qu'un. Il est doué du pouvoir d'autoreproduction.

¹² Autosomes : chromosomes non sexuels.

¹³ Base (base azotée) : l'ADN et l'ARN comportent 4 bases différentes (dont 3 leurs sont communes). C'est la capacité des bases à s'apparier chacune avec sa base complémentaire qui donne à l'ADN ses caractéristiques essentielles : capacité de duplication (ou réplication), et à synthétiser l'ARN messager à partir d'un brin d'ADN (transcription).

¹⁴ Nucléotide : constituant élémentaire de l'ADN et de l'ARN, composé d'un sucre (désoxyribose ou ribose), d'un phosphate et d'une base azotée.



Les bases (A,T,C,G) sont associées par paire. Cet appariement est complémentaire ; l'adénine est toujours associée à la thymine et la cytosine à la guanine (A-T et C-G) c'est-à-dire que quand sur l'un des brins d'ADN, la base est A, l'autre porte T et quand la base est C sur le premier brin, l'autre porte G. Les deux brins sont dits antiparallèles car orientés de manière opposée (Figure 11).

Pour être contenu dans le noyau des cellules, l'ADN est compacté. C'est une molécule très longue qui, si elle était déroulée, mesurerait environ un mètre ! Seulement 2% de l'ADN humain est occupé par les gènes¹⁵ responsables de la production des protéines (ADN codant¹⁶).

L'ADN est exactement le même dans toutes les cellules du corps humain mais il est propre à chaque individu (à l'exception des vrais jumeaux), car même si deux personnes ont en commun la plus grande part de leur séquence ADN, il existe des différences importantes dans certaines régions de cette séquence (locus¹⁷). C'est cette propriété qui est particulièrement intéressante pour les spécialistes en criminalistique. L'analyse de l'ADN requiert au préalable son extraction du noyau de la cellule.

4.1. Extraction de l'ADN

L'analyse de l'ADN requiert au préalable son extraction du noyau cellulaire. Les techniques d'extraction de l'ADN diffèrent d'un laboratoire à l'autre et diffèrent au sein d'un même laboratoire selon le type de matière biologique concernée (sang, tissu...). En police scientifique, on distingue schématiquement trois catégories de sources possibles d'ADN :

- Probable : cheveux, traces de contact
- Bonne : salive, sang, sperme, sécrétions nasales
- Mauvaise : urine, fèces

Le principe est toujours le même : il s'agit d'obtenir l'ADN contenu dans le noyau des cellules en le séparant des débris cellulaires et membranaires et de substances inhibitrices qui se trouvent associées aux traces. L'étape d'extraction doit être accompagnée d'une étape de purification.

Il existe plusieurs coffrets réactifs commerciaux d'extraction prêts à l'emploi (kits QIAamp QiagenTM, king FisherTM ...). Ils utilisent un support qui possède une forte affinité pour l'ADN (silice ou billes magnétiques chargées positivement), l'ADN (chargé négativement), est capturé, lavé puis élué dans une solution tampon adéquate pour être conservé avant de procéder aux étapes suivantes.

Une fois extrait, l'ADN doit être dosé. Il est en effet important de déterminer la quantité d'ADN présente dans l'échantillon extrait et d'en déterminer le volume à amplifier.

¹⁵ Gène : unité de transmission héréditaire de l'information génétique. Un gène est un segment d'ADN (ou d'ARN chez un virus), situé à un locus précis sur un chromosome, qui comprend la séquence codant pour une protéine, et les séquences qui en permettent et régulent l'expression.

¹⁶ ADN codant : segment d'un gène dont la séquence est décodée pour synthétiser une protéine.

¹⁷ Un locus est un emplacement physique précis et invariable sur un chromosome qui peut être là où se situe un gène mais pas obligatoirement. Le pluriel est Loci ou locus (conseillé aujourd'hui). Le locus est désigné de manière alpha numérique. Le premier chiffre désigne la paire de chromosomes concernées, suivi de p (pour bras court ou de q pour bras long puis par un chiffre qui désigne l'emplacement précis du locus par référence au centromère « point de rencontre des deux brins (chromatides) » du chromosome (ex : Locus 8q22.3 ou 5p15.33).

4.2. Quantification de l'ADN extrait

Une technique traditionnelle de dosage de l'ADN humain (*dot blot*) est basée sur le principe de l'*hybridation*¹⁸ d'une *sonde*¹⁹ spécifique de l'ADN humain (D17Z1) complémentaire d'une séquence présente en milliers d'exemplaires dans l'ADN humain. L'estimation de la quantité d'ADN dans l'échantillon se fait par comparaison à une gamme d'étalonnage (exemple : kit Quantiblot de Applied Biosystem).

Dans de nombreux laboratoires, cette méthode semi-quantitative et laborieuse a été abandonnée au profit de la PCR quantitative ou PCR en temps réel. Russel Higuchi fut l'un des premiers à élaborer un système qui détectait le produit de la PCR au fur et à mesure qu'il s'accumulait [27]. Les techniques de PCR en temps réel permettent de quantifier le produit amplifié au fur et à mesure de la réaction (Exemple : kit QuantifilerTM Human identification kit).

Cette technologie est basée sur la détection et la quantification d'un émetteur fluorescent pendant le processus d'amplification²⁰. Elle repose sur la chimie Taqman [28] qui permet d'obtenir un signal fluorescent à partir d'une sonde bi-marquée dont l'augmentation du signal d'émission de la fluorescence est directement proportionnelle à la quantité d'ADN amplifiée (Figure 12).

4.3. Analyse de l'ADN :

Il est maintenant admis que la plus grande partie du génome²¹ humain, probablement plus de 98% n'est pas *codant* et son rôle demeure largement inconnu, le reste, 2% du *génom*e, est occupé par les gènes qui sont responsables de la production des protéines. En fait, il s'agit d'une architecture complexe composée de gènes morcelés dispersés sur les chromosomes et séparés par des régions *non codantes*, plus longues que les *gènes*, parmi lesquelles figurent des séquences répétées en tandem (figure 13).

4.3.1. Les différents types de polymorphismes de l'ADN

En criminalistique, on connaît deux sortes de polymorphismes : les polymorphismes de taille et de séquence.

¹⁸ Hybridation : technique qui consiste par exemple à associer des fragments d'ADN simples brins entre eux.

¹⁹ Sonde : fragment d'ADN défini, marqué chimiquement ou à l'aide de radio-isotopes, et utilisé dans des techniques d'hybridation moléculaire pour identifier des séquences cibles d'ADN qui lui sont étroitement apparentées. Les sondes monococus ne révèlent qu'un seul emplacement dans le génome. Les sondes multilocus révèlent plusieurs emplacements dans le génome.

²⁰ L'amplification génique, dite aussi **PCR** (« polymérase chain reaction ») est une technique permettant de recopier de manière exponentielle un fragment d'ADN grâce à l'utilisation d'une enzyme (polymérase).

²¹ Génome : ensemble du matériel génétique présent dans chacune des cellules d'un individu. Patrimoine héréditaire d'un individu. Fait référence à la totalité de l'ADN d'un organisme.

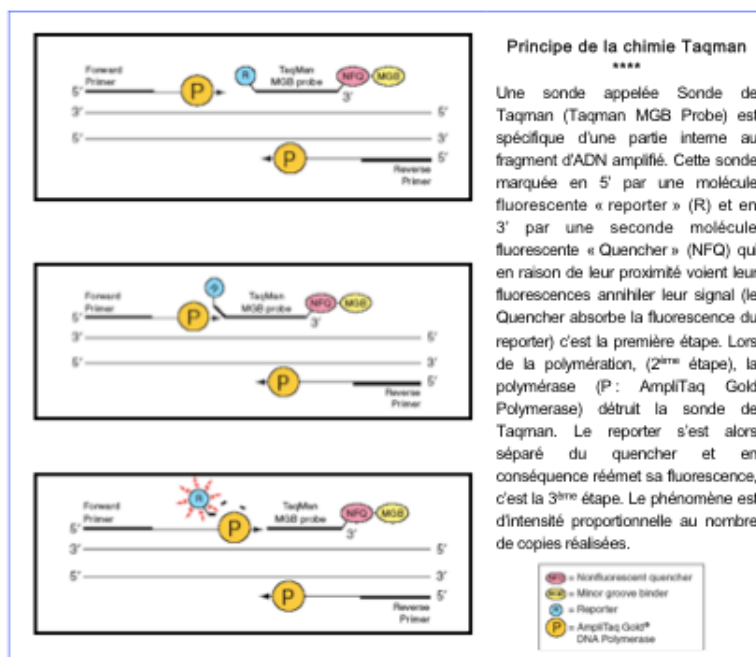


Figure 12 Principe de la chimie Taqman

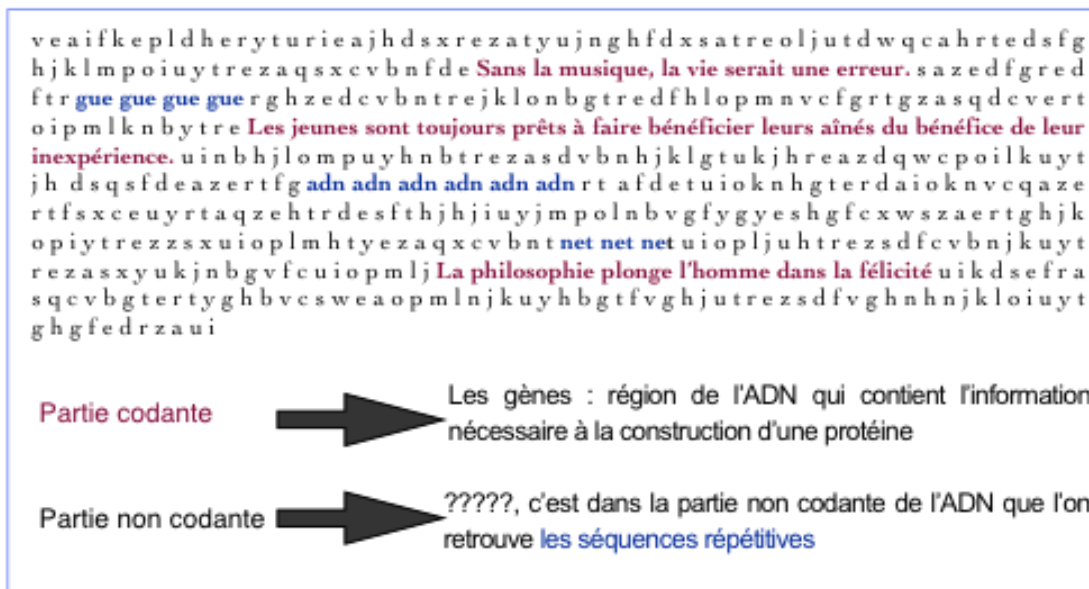


Figure 13 Représentation schématique des séquences codantes et non codantes de l'ADN

4.3.1.1. Le polymorphisme de l'ADN nucléaire des autosomes

- Le polymorphisme de taille longueur (VNTR, STR)

La variation génétique mesurée est le nombre de répétitions dans une région d'ADN donnée, qui peut varier d'un individu à l'autre, ce nombre de répétitions des séquences d'ADN induit un polymorphisme de taille (variation de la taille du fragment d'ADN), qui définit 2 sous-groupes d'ADN :

L'ADN minisatellite : nombre variable de séquences répétées en tandem (VNTR ou variable number of tandem repeats). La taille de la séquence répétée est comprise entre 5 et 60 paires de bases²² (pb).

L'ADN microsatellite : Les séquences répétées d'un microsatellite sont plus petites que les séquences répétées du minisatellite. Elles sont désignées par le terme séquence répétée courte en tandem *short tandem repeat polymorphism*, (STR). L'ADN des microsatellites est défini par des séries d'unités simples répétées (1 à 4 pb) en tandem et dispersées dans tout le génome humain :

- Technique : RFLP (restriction fragment length polymorphism)
- Détection de séquences répétées type VNTR avec des sondes multilocus
- Détection de séquences répétées type VNTR avec des sondes monolocus
- Technique : PCR (polymerase chain reaction)
- Détection de séquences répétées type VNTR (D1S80 et ApoB)
- Détection de séquences répétées type STR *simplex* avec coloration au nitrate d'argent
- Détection de séquences répétées type STR *multiplex* avec des colorants fluorescents
- Le polymorphisme de séquences - structure

Ce type de polymorphisme encore appelé polymorphisme de séquence, bien que moins informatif que le polymorphisme de taille, a été utilisé en criminalistique. La variation génétique mesurée est la variation de la séquence d'ADN d'un gène donné.

- Technique : Dot blot inverse

²² Paire de bases : il s'agit de l'unité utilisée pour exprimer la longueur d'un fragment d'ADN (pb ou bp). On parle de paire de bases car l'ADN est le plus souvent sous la forme d'une double chaîne de nucléotides complémentaires.

4.3.1.2. Le polymorphisme des chromosomes sexuels

Le polymorphisme des chromosomes X n'est pas développé dans ce chapitre, le chromosome Y, plus petit que X intéresse davantage le criminologue.

4.3.1.3. Le polymorphisme de l'ADN mitochondrial

L'ADN mitochondrial est circulaire et ne comporte que 16 569 bases. Il est exclusivement transmis par voie maternelle. Ce polymorphisme de structure et non de répétitions n'est pas développé dans ce chapitre.

4.3.2. Techniques d'analyses

4.3.2.1. Analyse des séquences répétitives type VNTR par southern blotting (hybridation moléculaire²³):

L'une des premières approches utilisées pour la détection de la variation génétique au niveau de l'ADN s'est appuyée sur l'existence d'enzymes bactériennes connues sous le nom d'enzymes de restriction²⁴. Ces enzymes coupent l'ADN au niveau de séquences spécifiques, appelées sites de reconnaissance. Cette coupure spécifique entraîne la formation de fragments dits de restriction de l'ADN (Figure 14).

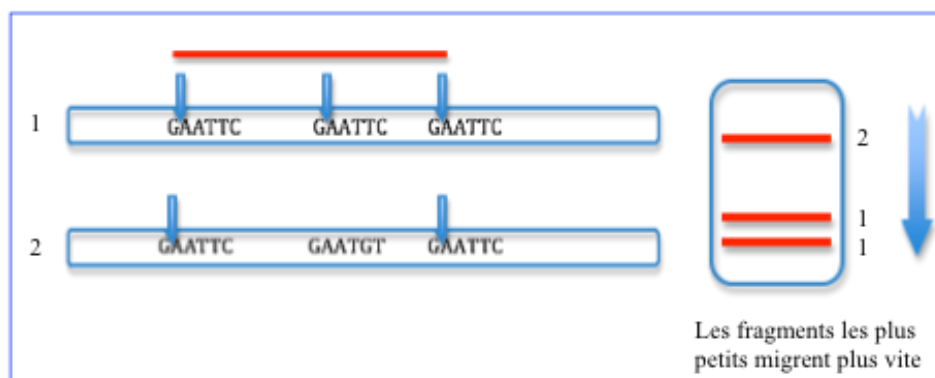


Figure 14 Coupure de l'ADN par une enzyme de restriction (en bleu), qui coupe les séquences de reconnaissance GAATTC

En 1 l'enzyme reconnaît trois sites, produisant ainsi deux fragments plus petits. En 2 l'enzyme ne reconnaît pas le site GAATGT, cette séquence n'est donc pas coupée, seuls les deux sites GAATTC le sont générant ainsi un seul fragment plus long que les précédents. Après hybridation avec une sonde (en rouge), les fragments sont déposés sur un gel d'électrophorèse, les plus courts migrent plus vite.

Une variante technique exploite l'existence des minisatellites répartis dans tout le génome.

C'est en 1985, que Sir Alec Jeffreys [29], généticien britannique, démontre l'intérêt des minisatellites en faisant d'eux la base des empreintes génétiques²⁵. Grâce à la propriété des enzymes de restriction, il résulte après coupure, de nombreux fragments d'ADN de taille variable et différents d'une personne à une autre. Ces variations ont été nommées polymorphismes de taille des fragments de restriction (RFPL : *restricted fragment length polymorphism*).

²³ Hybridation moléculaire : technique permettant de mettre en évidence au sein d'une cellule, une séquence d'acides nucléiques, par exemple de localiser un locus sur un chromosome. Elle est basée sur le principe de complémentarité des bases azotées.

²⁴ Enzymes de restriction : protéine dont la propriété est de couper la molécule d'ADN en petits fragments, en des zones très précises et toujours identiques. Il en existe de plusieurs sortes d'après le point précis (site de reconnaissance) de coupure.

²⁵ Empreinte de l'ADN : utilisation d'une sonde d'ADN minisatellite sur un Southern blot produisant une série de bandes spécifiques d'un individu et permettant de l'identifier.

Principe de la technique RFLP : On extrait l'ADN des échantillons puis cet ADN est coupé en petits fragments sous l'action des enzymes de restriction. Ces fragments sont ensuite triés en fonction de leur taille et de leur charge par électrophorèse²⁶. Les échantillons sont déposés sur un gel d'électrophorèse (support gélatineux), sur lequel on applique un courant électrique. Les fragments les plus petits migrent plus vite que les grands. Ces fragments d'ADN sont alors ordonnés sur le gel, ils sont toujours double brin et l'étape suivante consiste à les dénaturer pour obtenir des fragments simple brin. Le gel est un support fragile, il faut donc le transférer sur un support plus solide (membrane) pour pouvoir poursuivre l'analyse. Ce transfert d'un gel sur une membrane est appelé « la technique de Southern ».

Pour visualiser les fragments d'ADN, on met en œuvre la technique dite d'hybridation moléculaire : qui consiste à associer les fragments d'ADN simple brin avec des sondes ; c'est-à-dire des fragments synthétisés de séquence connue de bases. Ces fragments s'associent uniquement aux brins d'ADN comportant les séquences qui leur sont complémentaires. Ces sondes sont porteuses de traceurs radioactifs. Les nouveaux fragments radioactifs peuvent alors être visualisés par autoradiographie, c'est ainsi qu'apparaissent sur le film à rayons X, des bandes noires qui s'apparentent à un code à barres.

Il existe deux façons principales de détecter les RFLP : les sondes multilocus et les sondes monolocus (figure 15).

Les sondes multilocus, révèlent simultanément plusieurs VNTR et donc plusieurs emplacements dans le génome, elles produisent de nombreuses bandes dont la combinaison est propre à chaque individu (il s'agit des codes barres évoqués ci-dessus).

En 1989, Alec Jeffreys améliore cette technique [30] en créant des sondes monolocus qui sont plus spécifiques et ne révèlent que le locus choisi. La puissance de ce test peut être augmentée en multipliant le nombre de sondes spécifiques utilisées.

Bien que ces techniques aient été d'un grand intérêt, puisque la probabilité d'observer chez un individu le même ensemble de 15 bandes a été estimé à 3×10^{-11} par Jeffreys *et al* (1985), elles sont longues à mettre en œuvre et la lecture des résultats délicate même si elle a été simplifiée avec l'introduction des sondes monolocus mais leur durée d'exécution demeure importante et exige de grandes quantités d'ADN.

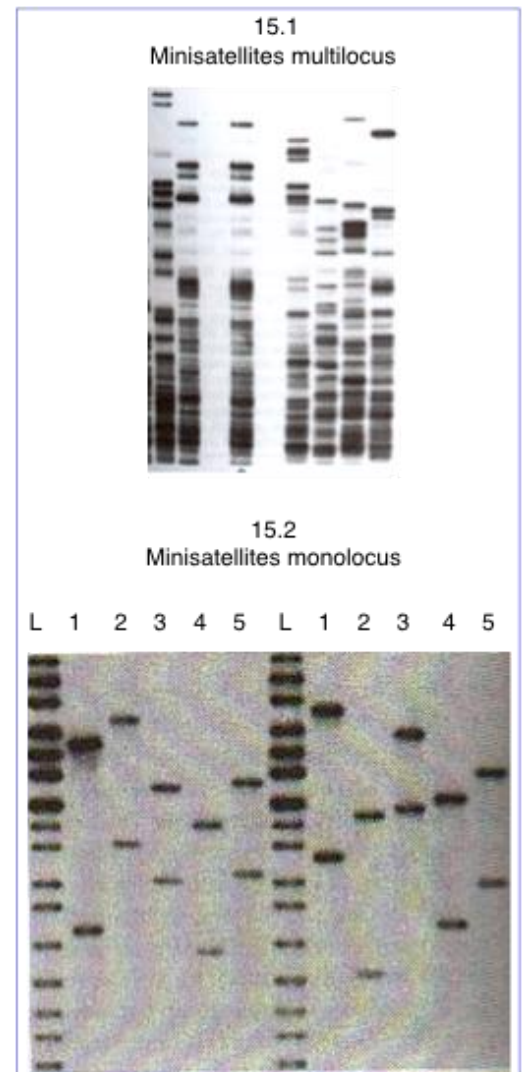


Figure 15 Révélation de fragments d'ADN sur gel d'électrophorèse de minisatellites.

4.3.2.2. Analyse du polymorphisme des séquences répétitives type VNTR par PCR

La réaction de polymérisation en chaîne (polymérase chain réaction, PCR) découverte par Kary Mullis [31] en 1986, a rendu la détection de la variation génétique au niveau de l'ADN beaucoup plus efficace et révolutionné la biologie moléculaire.

Elle consiste en une technique de réplification artificielle, très rapide produisant des millions de copies d'une courte séquence d'ADN et s'imposant comme méthode de choix pour la génétique judiciaire. La PCR rend en effet possible la production *in vitro* d'une quantité suffisante de fragments signifiants d'ADN pour le détecter.

²⁶ Electrophorèse : technique permettant de séparer des molécules en fonction de leur taille et de leur charge électrique. On peut ainsi analyser et purifier en milieu gélifié (gel d'agarose, gel de polyacrylamide ...) l'ADN, l'ARN et les protéines ; Plus le nombre de répétition du motif de bases est grand, plus le fragment est lourd et moins il migre vite.

Cette technique est précise, simple, rapide, et ne requiert donc que très peu d'ADN initial.

Détection d'ADN par PCR

Au plan pratique, l'ADN est incubé dans des conditions appropriées en présence d'une enzyme (ADN polymérase appelée la *Taq polymérase*²⁷), et de courts fragments d'acides nucléiques appelés *amorces*²⁸. On chauffe brièvement l'ADN à 94°C afin d'en séparer les deux brins. Puis on le refroidit à 55°C pour permettre l'hybridation avec les amorces qui se trouvent de part et d'autre de la région d'ADN à répliquer. Ensuite, il suffit d'élever la température à 72°C pour que l'enzyme, thermosensible agisse : elle accroche (élongation), les uns derrière les autres, les nucléotides complémentaires de ceux du brin copié. Elle commence par l'amorce, le brin d'ADN le plus long sert de matrice. Finalement, la séquence de départ devient deux fois plus abondante. La solution est alors réchauffée à 94°C et on entame un nouveau cycle de séparation des brins (figure 16). Après 30 cycles, on dispose de plus d'un milliard de copies de l'ADN de départ.

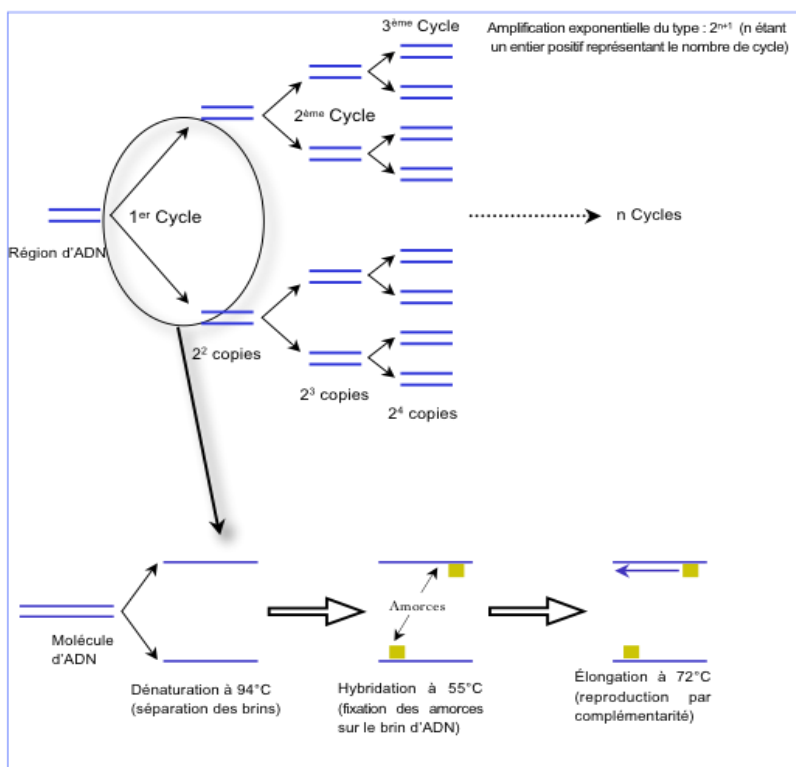


Figure 16 Représentation schématique de la PCR

Ainsi, la technique PCR offre des réponses claires même si le seul élément d'analyse disponible est un cheveu ou un mégot de cigarette.

Exemples de VNTR étudiés :

Locus D1S80 et ApoB

Le locus D1S80 est localisé sur le chromosome 1. Ce locus est composé d'une séquence dont le motif de base de l'unité répétée est composé de 16 *paires de bases*. Le nombre de répétitions varie de 14 à 41, soit 28 *allèles*²⁹ connus. La taille des *amplicons*³⁰ varie de 369 à 801 pb.

²⁷ Taq polymérase : ADN polymérase thermorésistante (co-découverte par Temin HM et Baltimore D en 1970) extraite de la bactérie *Thermus aquaticus*. Sa température optimale d'action est de 72°C, elle est capable de résister à des passages successifs à 95°C. Elle a pour fonction d'ajouter les nucléotides aux amorces hybridées dans le sens 5' vers 3'.

²⁸ Une amorce est une petite séquence d'ADN d'oligonucléotides synthétiques fabriquée à l'aide d'un automate.

²⁹ Allèle : une des différentes formes alternatives d'une séquence d'ADN au niveau d'un site chromosomique spécifique. Un individu possède deux allèles au niveau de chaque locus autosomique, l'un hérité de son père et l'autre de sa mère. Les allèles sont dénommés par un chiffre qui correspond au nombre de répétitions du motif de base du locus considéré. Un allèle est l'une des multiples versions différentes qu'un même gène ou qu'un même locus génétique peut connaître (duplication et transposition).

³⁰ L'amplicon parfois appelé amplifiât, est un fragment d'ADN amplifié.

Le locus ApoB est localisé sur le chromosome 2, ce locus est composé d'une séquence dont le motif de base de l'unité répétée est composé de 15 pb. Le nombre de répétitions varie de 29 à 51, soit 25 allèles connus. La taille des fragments d'ADN amplifiés varie de 560 à 1000 pb.

Après *amplification*, la révélation se fait par électrophorèse des fragments amplifiés sur gel de polyacrylamide. Après migration, les fragments d'ADN (allèles) séparés sont révélés par coloration au nitrate d'argent.

L : ladder ou échelle allélique³¹

C : contrôle ou *témoin positif*.

Les puits 1, 2, 3, 4 et 5 correspondent à des dépôts d'échantillons. On distingue soit une bande (échantillon 2) soit 2 bandes (échantillons 1, 3, 4 et 5). Les traces à l'origine de ces ADN sont dites *homozygotes*³² ou *hétérozygotes*³³ au locus considéré (D1S80)

La lecture de l'électrophorégramme de ces fragments se fait par comparaison à une *échelle allélique* regroupant tous les allèles connus au locus considéré (figure 17).

L'assignation des allèles par rapport à l'échelle allélique indique que les échantillons sont tous différents.

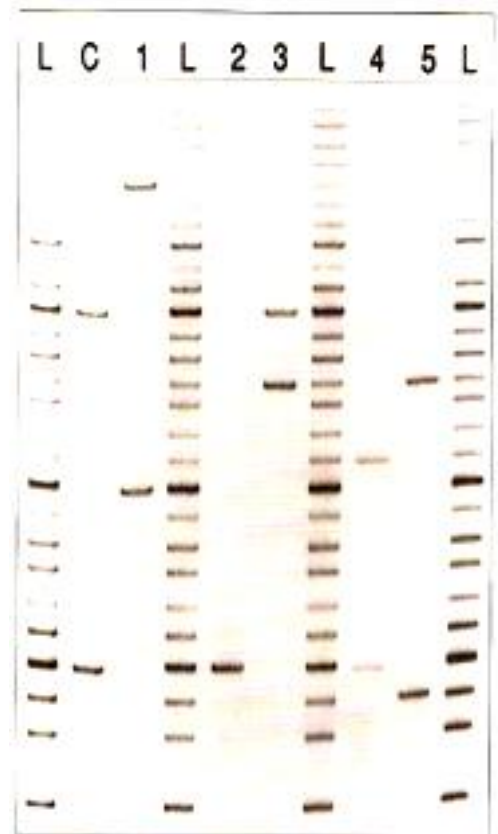


Figure 17
Gel d'électrophorèse d'un VNTR : D1S80

4.3.2.3. L'analyse du polymorphisme de séquences (structure) par PCR :

Parallèlement, il faut noter l'apparition sur le marché de trousse de réactifs (kits) permettant l'analyse du polymorphisme de séquences par *dot-blot*³⁴ comme le kit ampliType® HLA DQA1. Dans ce coffret réactif, les amorces sont fournies pour amplifier les séquences du locus HLA DQA1, puis le produit d'amplification est hybridé à une membrane de nylon sur laquelle sont fixées diverses séquences d'ADN correspondant à différents allèles de ce locus. Pour augmenter son pouvoir discriminant, ce kit est couplé au kit ampliTypePM® (PM : Polymarkers) afin de réaliser une *PCR multiplex*³⁵ qui permet d'amplifier de façon simultanée plusieurs locus, en l'occurrence six locus (HLADQA1, LDLR, GYPA, HBGG, D7S8 et GC). Très faciles d'emploi, ces trousse de réactifs ont été largement utilisées puis abandonnées au profit de ceux exploitant les STR (Figure 18).

³¹ Echelle allélique : ladder, il s'agit de tous les allèles connus au locus considéré.

³² Homozygote : un individu homozygote pour un locus présente deux allèles identiques au niveau de ce locus.

³³ Hétérozygote : un individu hétérozygote pour un locus présente deux allèles différents au niveau de ce locus.

³⁴ Dot-blot : méthode d'hybridation moléculaire dans laquelle l'ADN cible est déposé sous forme de tache sur une membrane de nylon ou de nitrocellulose.

³⁵ PCR multiplex : Amplification de plusieurs marqueurs en une seule réaction. Par exemple, pour une PCR triplex il faut détecter 3 cibles et pour cela utiliser 6 amorces.

Locus	HLADQA1	LDLR	GYPA	HBGG	D7S8	GC
Chromosome	6	19	4	11	7	4
Nombre d'allèles	8	2	2	3	2	3
amplicon (pb)	239 ou 242	214	190	172	151	138

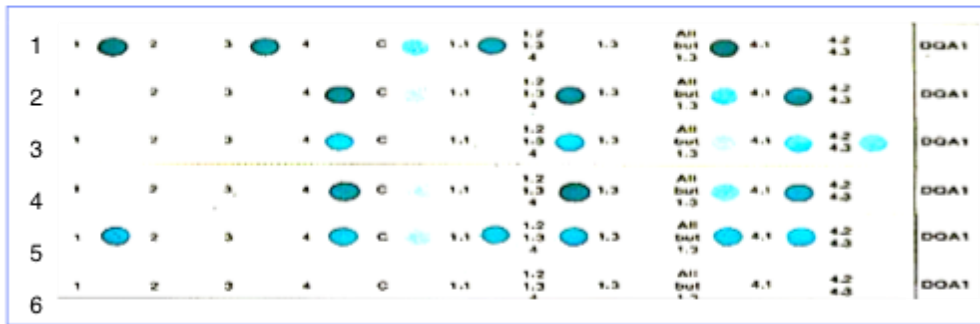


Figure 18 Tableau descriptif des loci HLADQA1 et Polymarker (Exemple de résultats obtenus avec le kit HLA DQA1).

La lecture des bandelettes indique : 1- ADN de la victime ; 2- ADN du suspect 1 ; 3- ADN du suspect 2 ; 4- ADN extrait de la trace de sang prélevée sur les lieux de l'infraction ; 5- témoin positif ; 6- témoin négatif.

On vérifie tout d'abord que le témoin négatif est bien négatif, c'est-à-dire qu'aucun spot bleu n'apparaît. Ensuite on s'assure que le témoin positif possède bien les spots bleus au génotype³⁶ attendu soit 1.1-4.1. Ce n'est qu'après que se fait la lecture des échantillons, soit 1.1-3 pour l'ADN de la victime, 4.1-4.1 pour le 1er suspect et 4.1-4.2 /4.3 pour le second. Le Génotype de la trace de sang est 4.1-4.1 et donc identique à celui du suspect.

4.3.2.4. Analyse du polymorphisme des séquences répétitives type STR par PCR

Il apparaît rapidement que l'efficacité de la PCR s'applique mieux à l'amplification de petits fragments de l'ADN (STR) plutôt qu'aux longs (VNRT) malgré leur polymorphisme.

Dès lors, le sous-groupe d'ADN microsatellites comportant des séries de répétitions en tandem de 1 à 4 pb réparties dans le génome, constitue la cible parfaite pour une amplification par PCR.



Figure 19 Sous-groupe d'ADN microsatellites comportant des séries de répétitions

La région répétée est variable selon les personnes, alors que les régions flanquantes³⁷ (site d'accrochage des amorces en bleu sur la figure) sont quant à elles identiques. Le motif de base AATG est répété 7 fois sur le premier brin et 8 fois sur le deuxième (figure 19).

Le nombre et le type de STR analysés ont évolué, et s'imposent aujourd'hui car, outre l'amplification de toutes petites quantités d'ADN due à la technique de PCR, la taille réduite des STR permet d'en amplifier

³⁶ Génotype : ensemble des caractères génétiques d'un individu hérité de ses ascendants. Son expression conduit au phénotype.

³⁷ Régions flanquantes : régions de l'ADN qui encadrent la région d'ADN d'intérêt c'est-à-dire celle que l'on souhaite amplifier.

plusieurs simultanément dans un même tube. C'est ainsi que l'on est passé d'une analyse en simplex (amplification d'un locus par réaction) à une analyse en PCR multiplex (amplification de plusieurs locus par réaction).

Exemples de STR amplifiés en multiplex (Figure 20).

	FFF			CT		
Locus	FvW	FESFPS	F13A1	THO1	TPOX	CSF1PO
Motif répété	AGAT	AAAT	AAAG	AATG	AATG	AGAT
Chromosome	12	15	6	11	2	5
Nombre d'allèles connus	8	8	12	7	8	9
Nombre de répétitions de la séquence	13 à 20	7 à 14	4 à 6	5 à 11	6 à 13	7 à 15

Figure 20 Exemples de STR amplifiés en multiplex

Ce tableau regroupe le descriptif de deux PCR multiplex FFF et CTT : longueur de l'élément répété (4 pb) ; localisation chromosomique c'est-à-dire le numéro du chromosome qui porte le locus d'intérêt ; nombre d'allèles connus au locus considéré.

- FFF : regroupe l'amplification des loci FvW, FESFPS et F13A1),
- CTT : regroupe l'amplification des loci (CSF1PO, TPOX et THO1).

Par exemple au locus FvW, il y a 8 allèles connus, dont le motif de base est (AGAT), le premier allèle connu est l'allèle 13 du STR FvW, ce qui veut dire que le premier allèle connu porte 13 fois l'élément répété (AGAT)

4.3.3. Les STR en 2010

Les outils d'aujourd'hui permettent donc d'amplifier plusieurs courts fragments d'ADN en une seule PCR, et de les séparer en une seule électrophorèse.

En théorie, réaliser une *PCR multiplex* semble simple puisqu'il suffit de mettre dans un tube les couples d'amorces choisis en fonction des locus que l'on souhaite amplifier. En réalité, plus les régions étudiées sont nombreuses, plus les conditions d'amplifications sont délicates. Le pouvoir résolutif de l'électrophorèse conventionnelle s'avère insuffisant, c'est pourquoi, l'utilisation des PCR multiplex exige une technique de séparation et de révélation plus adaptée telle que l'électrophorèse capillaire (figure 21).

En termes de révélation des fragments d'ADN, l'étape de coloration du gel après la migration en électrophorèse classique est substituée par l'emploi d'agents fluorescents facilement liés aux nucléotides et directement accrochés aux amorces.

En termes de séparation des fragments d'ADN, le principe de l'électrophorèse capillaire est le même qu'en électrophorèse classique : les amplicons sous l'action d'un micro courant, migrent en fonction de leur taille dans un polymère d'acrylamide qui «tapisse» l'intérieur de capillaires très fins au lieu d'un gel macroscopique. Dès leur sortie des capillaires, les fragments d'ADN marqués sont détectables par leur fluorescence. Leur signal est traduit par des pics constituant un spectre caractéristique en lieu et place des bandes « codes barres ».

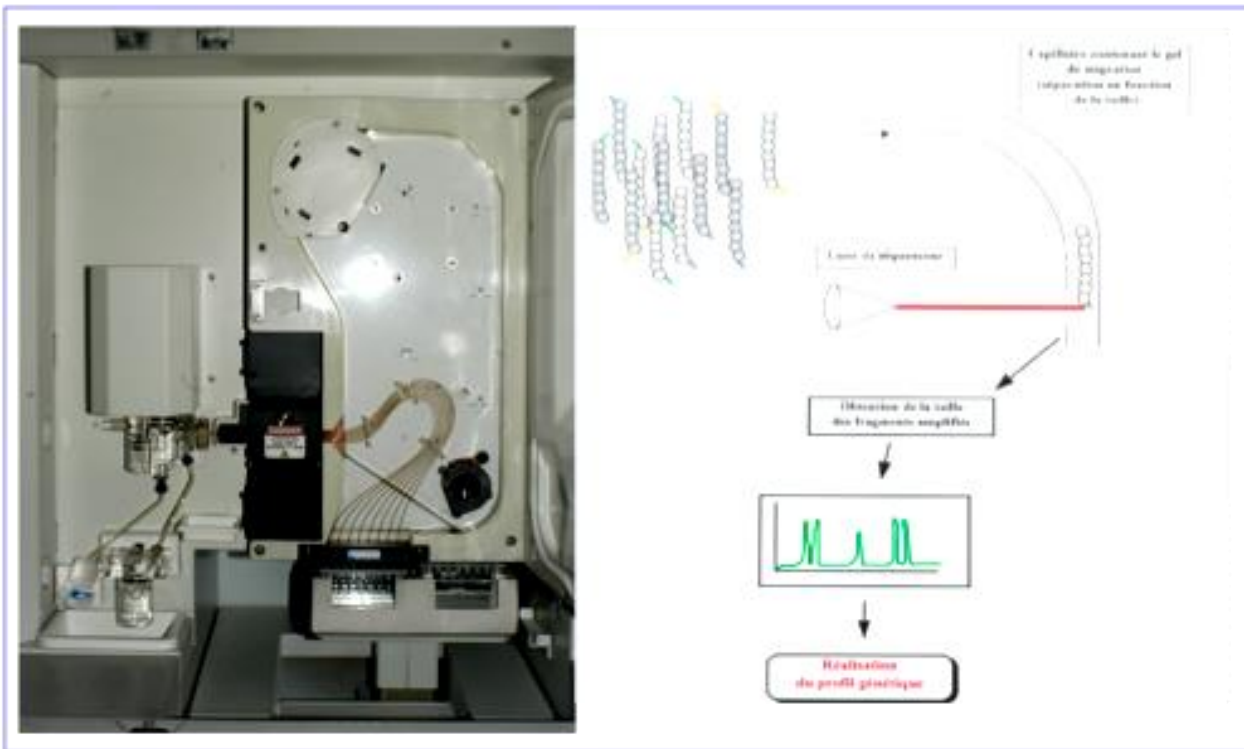


Figure 21

Présentation de l'électrophorèse capillaire, vue des capillaires et représentation schématique du fonctionnement

Comment faire pour que les fragments d'ADN ne se chevauchent pas en sortie de capillaire c'est-à-dire pour que les tracés des signaux mesurés leur correspondant soient parfaitement résolus (ne s'empêtent pas) ?

Pour amplifier plusieurs STR en même temps, on les choisit différents, de façon à ce que les tailles des fragments d'ADN soient distinctes, mais le choix des STR intéressants n'est pas illimité ! Si des fragments d'ADN sont de même longueur, ils doivent être marqués par des agents fluorescents différents (voir tableau de la figure 23). Un détecteur adapté en sortie de capillaire les repère en fonction de leurs longueurs d'ondes d'émission.

Des exemples de trousse de réactifs de PCR multiplex fréquemment utilisés sont décrits dans les tableaux des figures 22 et 23.

LOCI	Chromosome	Nombre d'allèles	SGM+	Identifier	Powerplex	Taille des amplicons (pb)	Minifiler réduction des amplicons (pb)
D19S433	19	15				106 à 140	
Amélogénine	X,Y	2				107 et 113	
D3S1358	3	8				114 à 142	
D5S818	5	10				119 à 155	
D8S1179	8	12				128 à 172	
vWA	12	14				157 à 209	
THO1	11	10				165 à 204	
D13S317	13	9				169 à 201	- 99
D21S11	21	24				187 à 243	- 33
D7S820	7	9				215 à 247	- 129
FGA	4	28				215 à 353	- 87
D16S539	16	11				234 à 274	- 157
TPOX	2	8				262 à 290	
D18S51	18	23				265 à 345	- 168
D2S1338	2	14				289 à 341	- 183
CSF1PO	5	10				321 à 357	- 201
Penta D	21	14				376 à 441	
Penta E	15	20				379 à 474	

Figure 22 Tableau récapitulatif des régions d'ADN amplifiées simultanément dans la réaction PCR multiplex selon les trousseaux utilisés. La taille des amplicons s'étend de 106 à 474 pb.

Colorant fluorescent	6FAM (bleu)	VIC (vert)	NED (jaune)	PET (rouge)
LOCI	CSF1PO D7S820 D8S1179 D21S11	D2S1338 D3S1358 D13S317 D16S539 THO1	D18S51 D19S433 TPOX vWA	D5S818 FGA Amélogénine

Figure 23 Tableau récapitulatif des agents fluorescents utilisés pour marquer les fragments d'ADN amplifiés. Ces marqueurs fluorescents couplés aux amorces permettent de distinguer les différents loci.

Chacun des locus amplifiés est multi-allélique. Les allèles diffèrent par le nombre de répétitions du motif de quatre bases, pour le locus considéré. Quant au gène de l'amélogénine, les produits d'amplification issus des chromosomes X ou Y sont respectivement de 103 et 109 paires de bases. L'assignation des allèles se fait par comparaison avec des étalons ou *échelles alléliques* (figure 24).

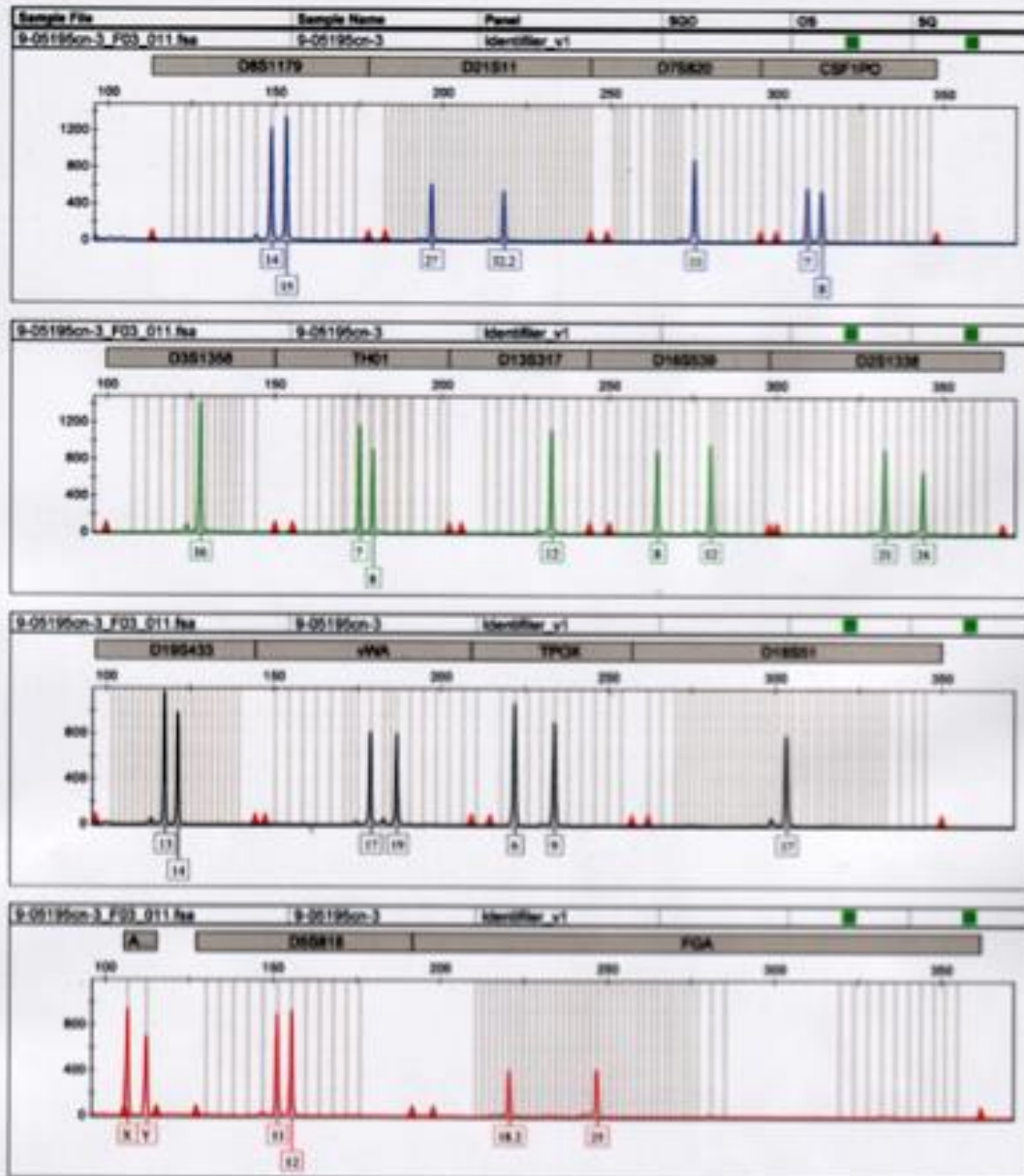


Figure 24 Exemple de profil génétique masculin après amplification avec le kit AmpFISTR Identifier™ et révélation par électrophorèse capillaire

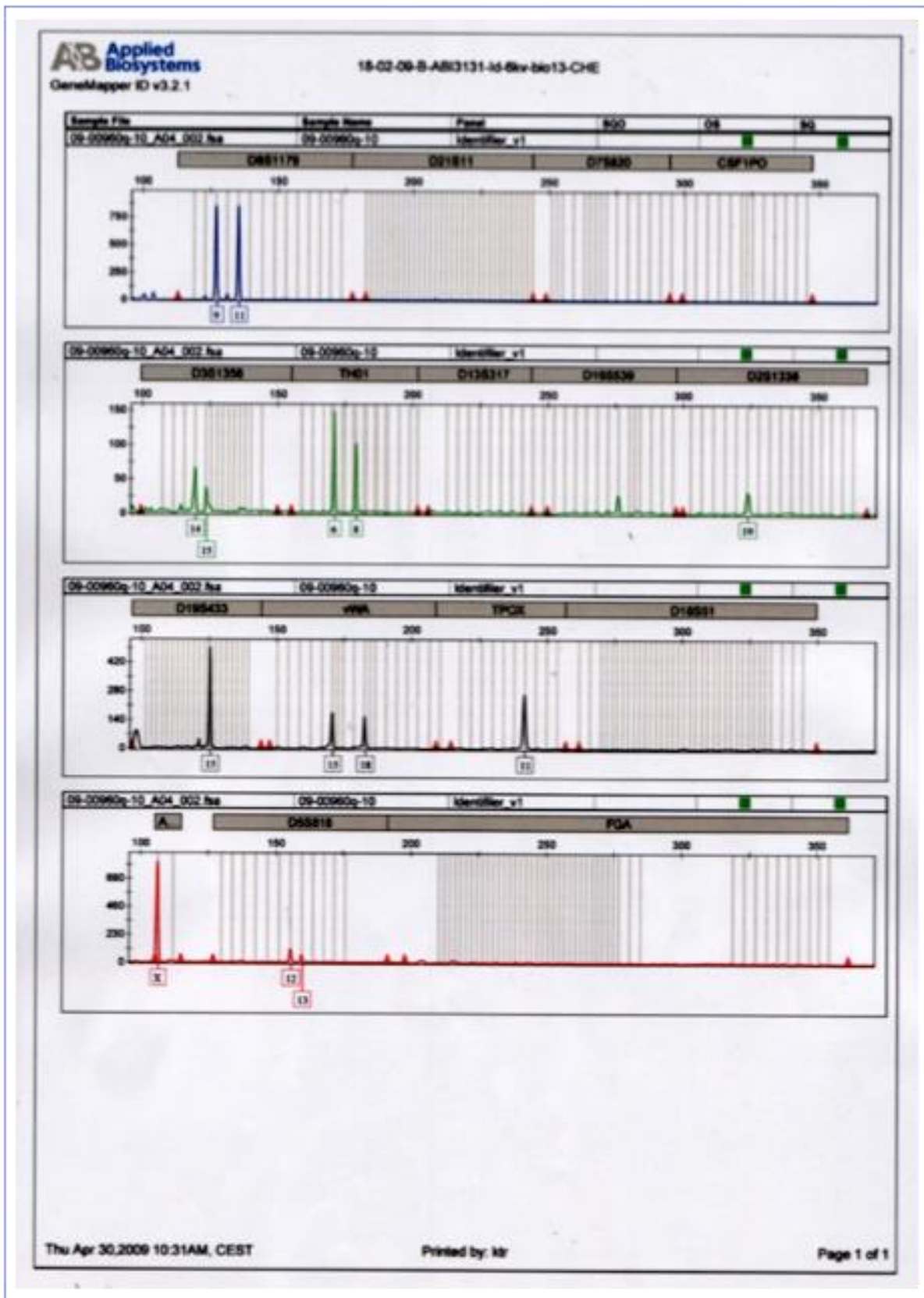


Figure 25 Exemple d'un profil génétique incomplet obtenu avec la trousse Identifiler, les régions D21S11, D7S820, CSF1PO, D13S317, D16S539, D2S1338, D18S51 et FGA) ne sont pas amplifiées.

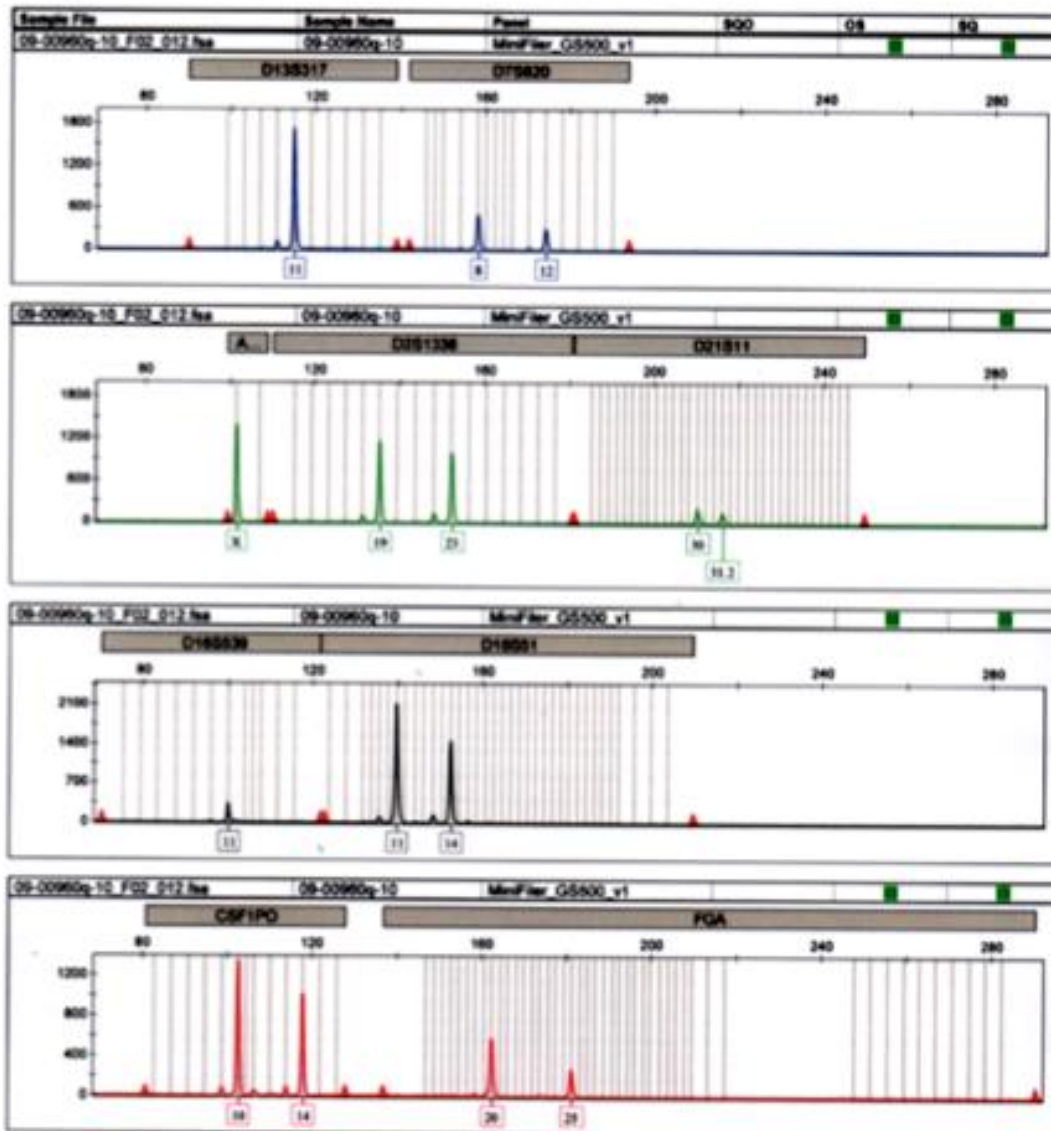


Figure 26 Ce même ADN amplifié à l'aide de la trousse AmpFISTR® MiniFiler™, permet de révéler les régions d'ADN précédemment non amplifiées (D21S11, D7S820, CSF1PO, D13S317, D16S539, D2S1338, D18S51 et FGA)

Il est rapidement apparu qu'en complément des troupes de réactifs à fort pouvoir discriminant (PCR multiplex), il fallait améliorer la sensibilité et la spécificité car certaines régions d'ADN sont délicates à amplifier voire susceptibles de subir des « *drop out*³⁸ » notamment lors de l'amplification des plus grands locus. Des kits plus spécifiques ont alors été conçus : la taille des amplicons a été réduite (au maximum 270 pb) par rapport à celle obtenue avec les troupes usuelles, en déplaçant les amorces au plus près de la région STR d'intérêt. Le kit AmpFISTR® MiniFiler™ par exemple est utilisé en complément des troupes usuelles Identifier® et SGM Plus®, en particulier pour l'analyse des microtraces³⁹ ou dans le cas d'échantillons dégradés ou contenant des inhibiteurs Figures 22, 25 et 26).

Le chromosome Y est plus petit que le chromosome X et porte un petit nombre de gènes. Il est surtout composé de séquences non codantes répétées en tandem ou dispersées. On parle d'*haplotype*⁴⁰ pour décrire le profil ADN des STR du chromosome Y et non plus de *génotype*. Le chromosome Y est aux lignées patroclines (paternelles) le pendant strict de l'ADN mitochondrial aux lignées matroclines (maternelles) : transmission uniparentale en bloc de père en fils, pour autant qu'aucune mutation ne surviennent lors de la transmission (figure 27).

Locus	motif répété	nombre d'allèles connus	Powerplex Promega	Y-plex 6 Reliagene	Yfiler Applied Biosystems	colorants florescent
DYS19	TAGA	8-19				VIC
DYS385a/b	GAAA	7-23				VIC
DYS389 I	TCTG et TCTA	9 à 17				6FAM
DYS389II	TCTG et TCTA	26 à 34				6FAM
DYS390	TCTG et TCTA	17 à 28				6FAM
DYS391	TCTA	7 à 14				NED
DYS392	TAT	6 à 16				NED
DYS393	AGAT	9 à 17				NED
DYS437	TCTA	13 à 17				PET
DYS438	TTTC	6 à 13				PET
DYS439	GATA	16 à 21				NED
DYS448		17 à 24				PET
DYS456		13 à 18				6FAM
DYS458		14 à 20				VIC
DYS635		20 à 26				NED
Y GATA H4		8 à 13				PET

Figure 27 Tableau récapitulatif de quelques STR du chromosome Y. En rouge figure les STR qui composent l'haplotype minimal Européen qui regroupe les STR les plus utilisés. Le SWGDAM (Scientific Working Group on DNA Analysis Methods) recommande d'ajouter deux STR supplémentaires DYS438 et DYS439.

Les kits STR spécifiques du chromosome Y sont des PCR multiplex avec agents fluorescents, ce qui permet d'amplifier simultanément dans une réaction PCR, plusieurs régions STR d'ADN du chromosome Y (figure 28).

Les marqueurs du chromosome Y sont utilisés :

³⁸ Allèle drop-out : allèle présent dans l'ADN analysé mais qui ne se retrouve pas dans le profil génétique obtenu après analyse. L'amplification s'est faite de façon préférentielle de l'allèle le plus petit au détriment du plus grand. Le risque est de déduire qu'un allèle est homozygote et non hétérozygote au locus considéré.

³⁹ **Microtraces, macrotraces** : traces comportant peu de cellules et donc faiblement chargées en ADN, ce sont le plus souvent des traces de contact. Les macro-traces sont les traces riches en cellule et donc fortement chargées en ADN.

⁴⁰ Haplotype : série d'allèles trouvés sur des locus liés sur un même chromosome (paternel ou maternel).

- Pour les recherches de paternité.
- Dans les affaires d'identification de victimes de catastrophes, pour identifier des liens de parenté éloignés. Les marqueurs autosomaux usuels n'apportent que peu d'informations sur ce lien car les profils génétiques peuvent être très différents et ils ne permettent aucune hypothèse sur la parenté. En revanche deux hommes dont le lien de parenté est éloigné doivent posséder les mêmes allèles.
- En cas de mélange complexe à trois ADN dont deux hommes et une femme, la lecture du profil génétique autosomal est complexe puisque les 3 ADN sont présents. L'haplotype du chromosome Y sera un mélange de deux ADN masculins plus aisé à interpréter.
- En cas d'agression sexuelle, on réalise une *lyse différentielle*⁴¹ à partir du prélèvement afin de séparer les spermatozoïdes des autres cellules présentes. Malgré cette séparation, lorsque le nombre de spermatozoïdes est particulièrement faible, il peut arriver qu'aucun ADN masculin ne soit détecté par les marqueurs autosomaux. L'ADN féminin fortement majoritaire, est préférentiellement amplifié au détriment de l'ADN masculin, minoritaire. Dans ce cas l'utilisation des marqueurs spécifiques du chromosome Y peuvent révéler un haplotype Y.

Le fait que la lignée masculine d'une même famille possède le même haplotype Y est un avantage dans certain cas, peut être un inconvénient pour les affaires criminelles car aucune différence ne peut être faite entre les hommes d'une même famille (figures 29 et 30).

⁴¹ Lyse différentielle : Cette lyse est mise en oeuvre préalablement à l'extraction de l'ADN, elle joue sur la différence de fragilité membranaire de cellules vaginales ou buccales de celles des spermatozoïdes. En tentant une séparation « physique » des cellules masculines et féminines, à l'issue des analyses dans le tube eppendorff, les spermatozoïdes doivent se retrouver dans le culot de centrifugation, les autres cellules sont présentes dans le surnageant. Les ADN sont ainsi extraits séparément.

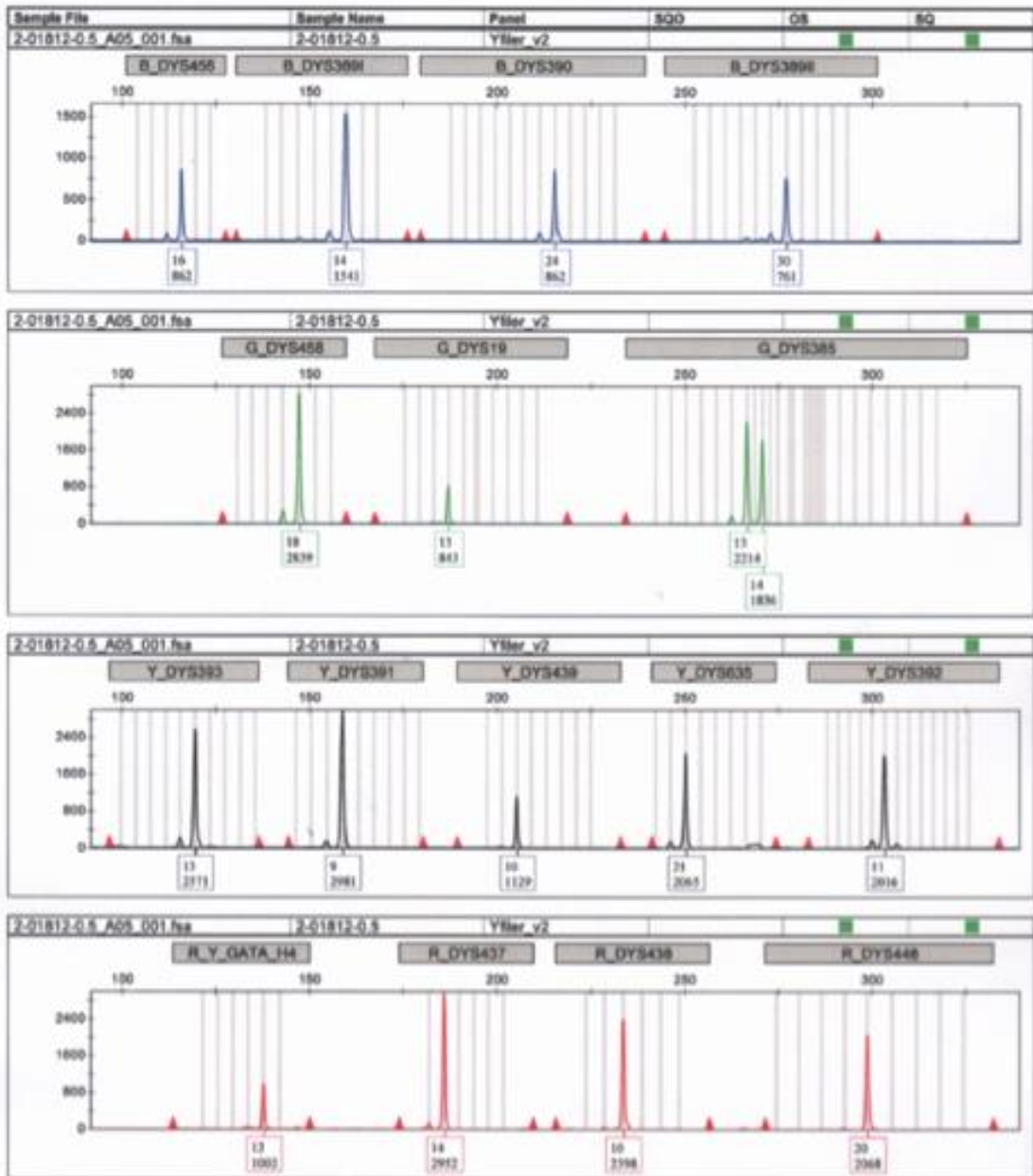


Figure 28 Exemple d'un haplotype Y : On distingue un pic par marqueur qui traduit la présence d'un seul allèle pour chacun des marqueurs considérés, en effet, ces marqueurs sont présents sur un chromosome présent en un seul exemplaire : le chromosome Y. On parle d'haplotype pour décrire le profil AND des STR Y non plus de génotype.

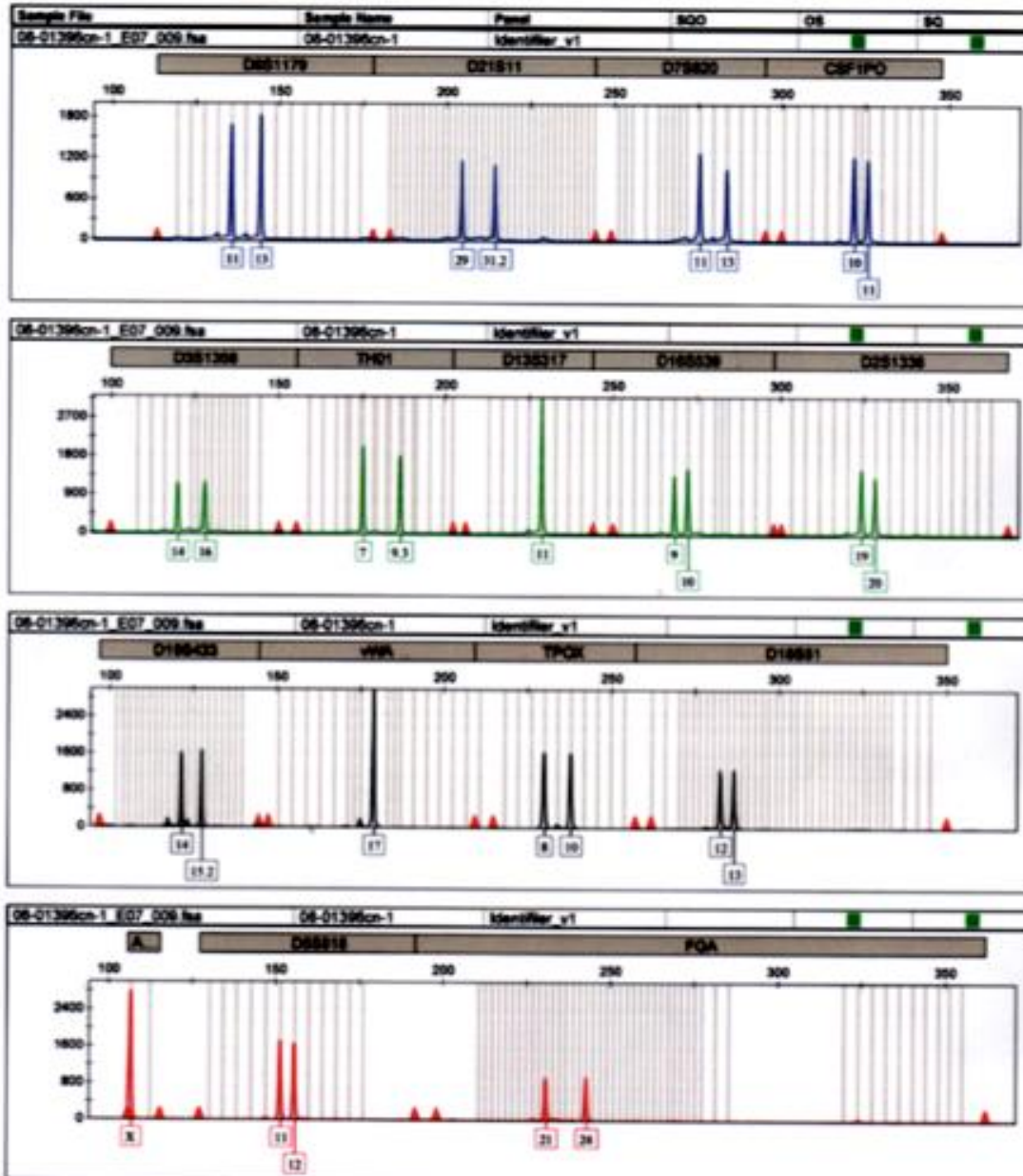


Figure 29 : Mélange d'un ADN féminin et d'un ADN masculin dont l'ADN masculin est masqué

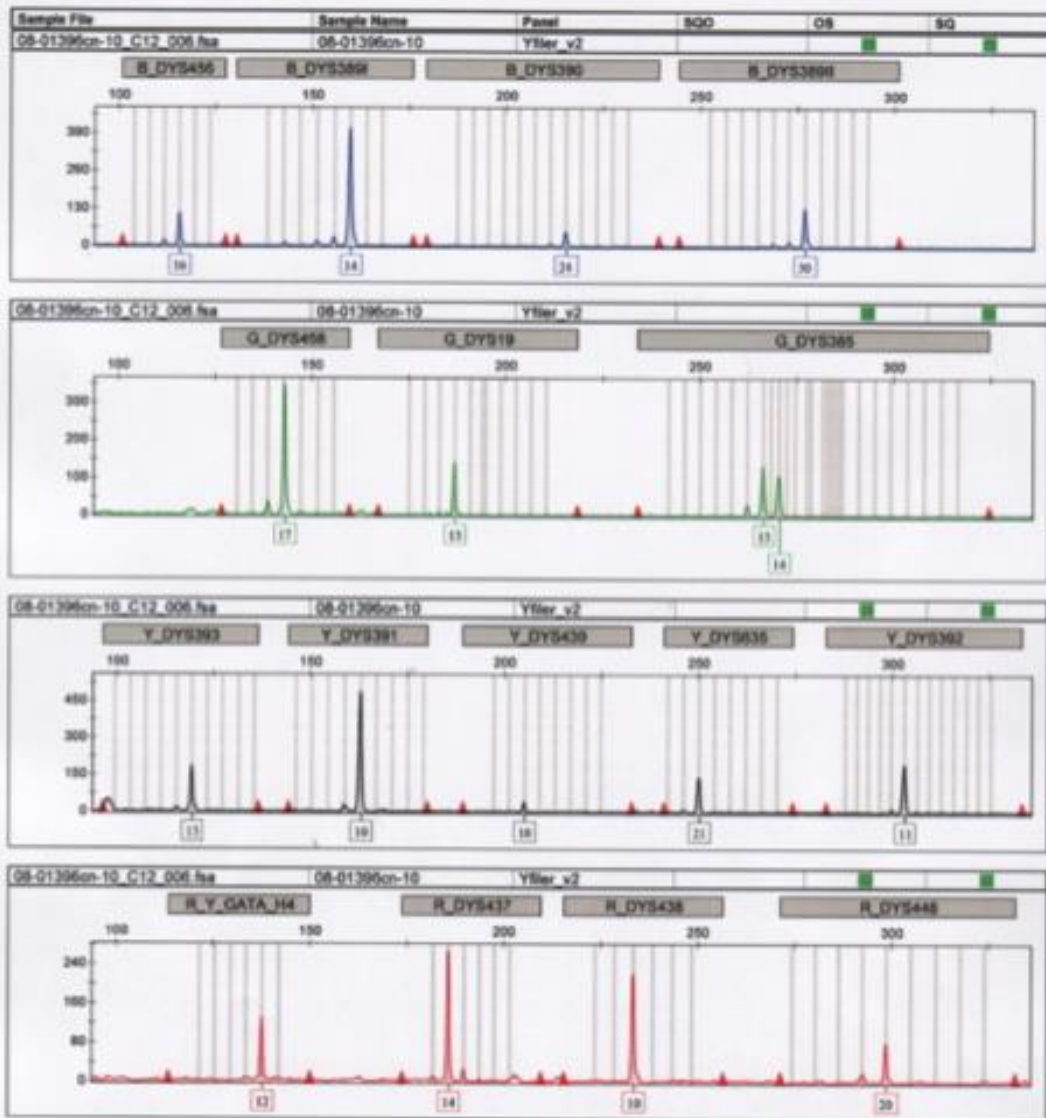


Figure 30 : Haplotype Y de cet ADN

5. Le rôle de l'expert

L'expertise en génétique judiciaire regroupe l'ensemble des étapes suivantes :

- Examen des scellés : recherche des traces et indices (observations, examens d'orientation) ;
- Choix et pertinence des prélèvements ;
- Analyses génétiques : extraction d'ADN, quantification, amplification, révélation et validation du profil génétique ;
- Transmission du profil génétique au FNAEG pour enregistrement et rapprochement éventuel ;
- Comparaison avec un/des suspects dans le cadre d'une enquête en cours qui donne lieu à une interprétation et une évaluation statistique ;
- Rédaction du rapport d'expertise ;
- Déposition devant la cour d'assises.

Existe-t-il des limites à l'exploitation de l'expertise génétique judiciaire ?

En théorie, il ne doit pas y en avoir car les indices biologiques (sueur, sang, sperme, salive, poils, traces de contact, etc.) une fois passés au crible d'examens de plus en plus sophistiqués doivent parler. Selon le principe d'Edmond Locart évoqué au chapitre « gestion de la scène de crime » : « *tout individu, à l'occasion de ses actions criminelles en un lieu donné, dépose et emporte à son insu des traces et des indices* ».

Même si ces indices sont très faibles, la molécule d'ADN est amplifiée avant d'être analysée. Les outils d'investigation sont désormais plus simples, ils permettent des explorations plus fines en un temps record puisqu'il est possible d'amplifier simultanément plusieurs régions d'ADN. De plus, l'analyse de l'ensemble de ces régions simultanément est suffisamment discriminante pour obtenir un résultat probant.

En pratique, l'expertise se révèle plus complexe. Des limites existent dans ce domaine qui rendent essentiel le rôle des experts. Les écueils sont nombreux et variés et peuvent survenir à des étapes très différentes du processus analytique. La liste évoquée ci-dessous en témoigne mais ne saurait être exhaustive.

Elle comprend deux catégories qui regroupent :

- Les limites techniques
- Les limites interprétatives

5.1. Les limites techniques

- Il existe quatre étapes principales qui conditionnent le travail expertal en laboratoire :
 - préservation des lieux ;
 - prélèvements des traces et indices ;
 - mise sous scellé ;
 - transport des scellés au laboratoire.
- Les dangers sont :
 - la destruction des traces ;
 - la détérioration des traces ;
 - l'apport de matériel biologique non pertinent ou contaminant ;
 - le mélange de traces biologiques.

Le principe qui s'applique aux scènes de crime s'applique également aux pièces à conviction : « la rétroactivité est impossible » : tout objet non saisi ou tout indice non prélevé est définitivement perdu.

Pour les supports non transportables (par exemple une trace sur un mur ou sur le sol), un choix est opéré sur place.

Le prélèvement, son conditionnement, son stockage et son acheminement au laboratoire, doivent être réalisés dans les meilleures conditions pour permettre sa bonne exploitation.

Si le support est transportable, celui-ci doit être acheminé sans délai au laboratoire pour exploitation.

Les pièces à conviction transportables constituées lors d'affaires graves et donc susceptibles d'aboutir à un procès d'assises, doivent être entourées de toutes les précautions qui s'imposent. Au laboratoire, les spécialistes procéderont aux prélèvements avec le recul nécessaire et dans des conditions ambiantes favorables (éclairage et environnement adaptés). En effet, de nouveaux prélèvements peuvent être tentés si les premiers résultats ne sont pas satisfaisants ex : couteau, bouteille. D'autres indices que le sang pourront être analysés notamment des prélèvements dits « de traces de contact » au niveau du manche du couteau pour tenter de recueillir des cellules de la personne ayant manipulé l'objet.

Ces traces dites « de contact » contiennent peu de cellules et donc peu d'ADN ; on parle de microtraces (par opposition aux macrotraces que sont les traces « chargées en ADN »). Le prélèvement des microtraces, requièrent un niveau maximal de précaution et donc le moins possible de manipulations car les risques de contamination sont grands.

Une contamination des échantillons est possible dès le recueil sur les lieux par le préleveur, les enquêteurs, les médecins... plus généralement par les intervenants sur la scène de crime. Au laboratoire, les spécialistes sont confrontés depuis longtemps à ce problème de contamination et les conditions de prélèvements et d'analyses sont rigoureuses. Les actions entreprises sont nombreuses :

- port d'EPI (équipement de protection individuel) différent selon les zones d'analyses et en particulier entre les étapes de pré-PCR (avant l'étape de l'amplification de l'ADN) et post-PCR (après l'étape d'amplification de l'ADN) (figure 31) ;
- des zones de prélèvements de différents types de traces (*microtraces* et de *macrotraces*) ;
- le principe de la « marche en avant » est de rigueur dans les laboratoires spécialisés (*voir chapitre 2*).

Si malgré tout une contamination s'imisce, elle est rapidement détectée puisque les profils génétiques du personnel du laboratoire sont recensés. Une stratégie devrait être adoptée dans le traitement des contaminations éventuelles des intervenants sur les lieux.

Le processus d'analyse doit être parfaitement maîtrisé depuis le prélèvement jusqu'à l'établissement du profil génétique.

Il peut se produire une défaillance des techniques d'analyse (problème sur un thermocycleur⁴² ou lors de la migration électrophorétique). Ces problèmes techniques sont bien maîtrisés puisque des témoins⁴³ d'analyses sont systématiquement introduits dans la chaîne analytique et testés parallèlement aux échantillons. Les résultats ne sont validés que si le comportement des témoins est conforme à celui attendu.



Figure 31 Port d'EPI

⁴² Thermocycleur : encore appelé amplificateur, cet appareil permet de programmer les températures nécessaires à la réalisation de l'amplification des séquences d'ADN cibles.

⁴³ Témoins négatifs : tube dans lequel on n'introduit pas d'échantillon mais qui suit toutes les étapes du processus analytique et qui, à la fin du processus ne doit présenter aucun résultat. Dans le tube témoin positif qui suit également toutes la procédure un profil connu d'ADN est introduit et doit donner le résultat conforme à celui attendu.

5.2. Les limites de l'interprétation

Une fois l'indice prélevé et acheminé au laboratoire, les problèmes rencontrés peuvent être de différentes natures :

- la quantité : absence ou une trop faible quantité d'ADN pour obtenir un profil génétique exploitable ;
- la qualité : l'ADN peut-être dégradé ou partiellement dégradé pour diverses raisons (échantillons soumis aux UV, à l'humidité, aux microorganismes...).

Des solutions existent, on peut y recourir à différents points d'accès du processus analytique, par exemple : une étape de concentration et purification de l'ADN extrait.

L'étape de dosage de l'ADN par la PCR en temps réel permet, d'optimiser l'étape d'amplification en quantifiant l'ADN et d'évaluer la qualité de l'échantillon en révélant par exemple la présence d'inhibiteurs.

Quant la quantité d'ADN est faible, notamment pour les microtraces, le résultat d'une première analyse n'est pas toujours satisfaisant :

- pas assez d'ADN ou présence d'ADN dégradé ; le profil génétique résultant est plat (absence de pics, figure 32) ou partiel (figure 25) ;
- mélange d'ADN (simple, figure 33 ou complexe, figure 34).

Des tentatives d'améliorations sont mises en œuvre (concentration, purification, utilisation de réactifs plus sensibles ou plus spécifiques (STR du chromosome Y). Si le résultat n'est toujours pas satisfaisant, un nouveau prélèvement peut-être effectué. Dans certains cas, malgré les tentatives d'amélioration, le résultat est toujours négatif ou certains mélanges d'ADN sont tels qu'aucune interprétation n'est possible. On doit alors renoncer à valider le résultat.

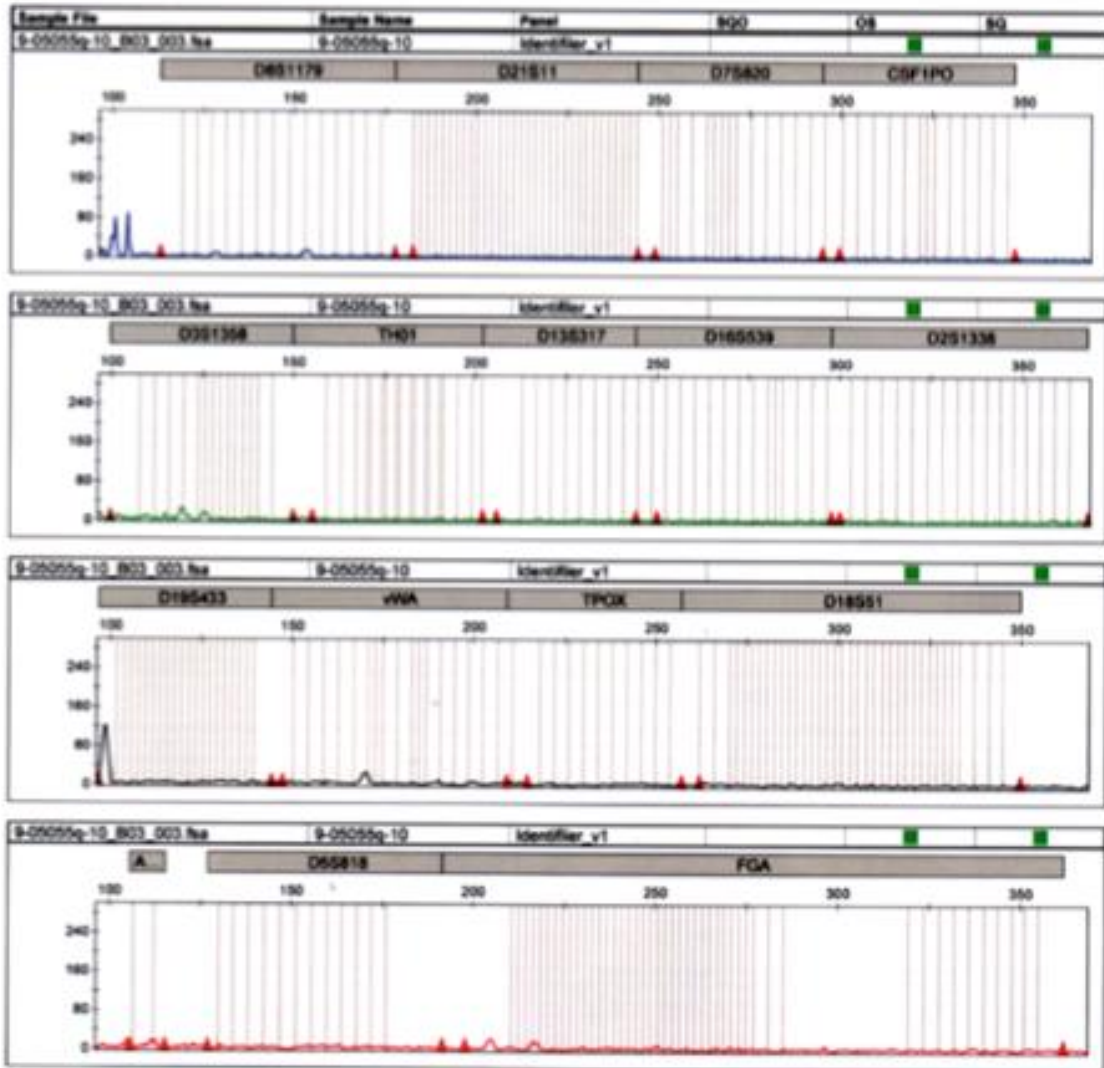
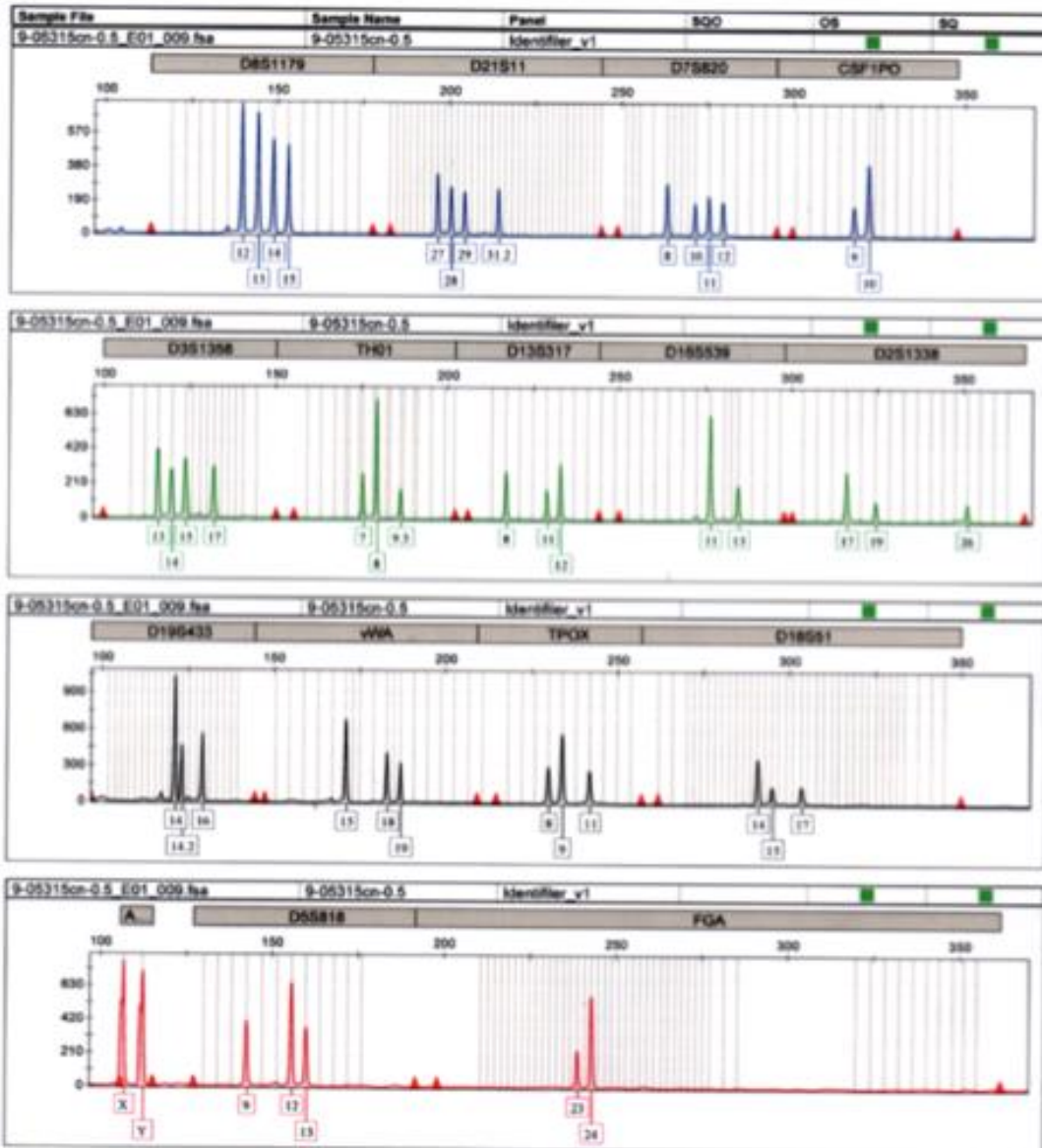


Figure 32 Exemple de profil plat (pas assez d'ADN ou présence d'ADN dégradé) ; à comparer avec le profil partiel de la figure 25.



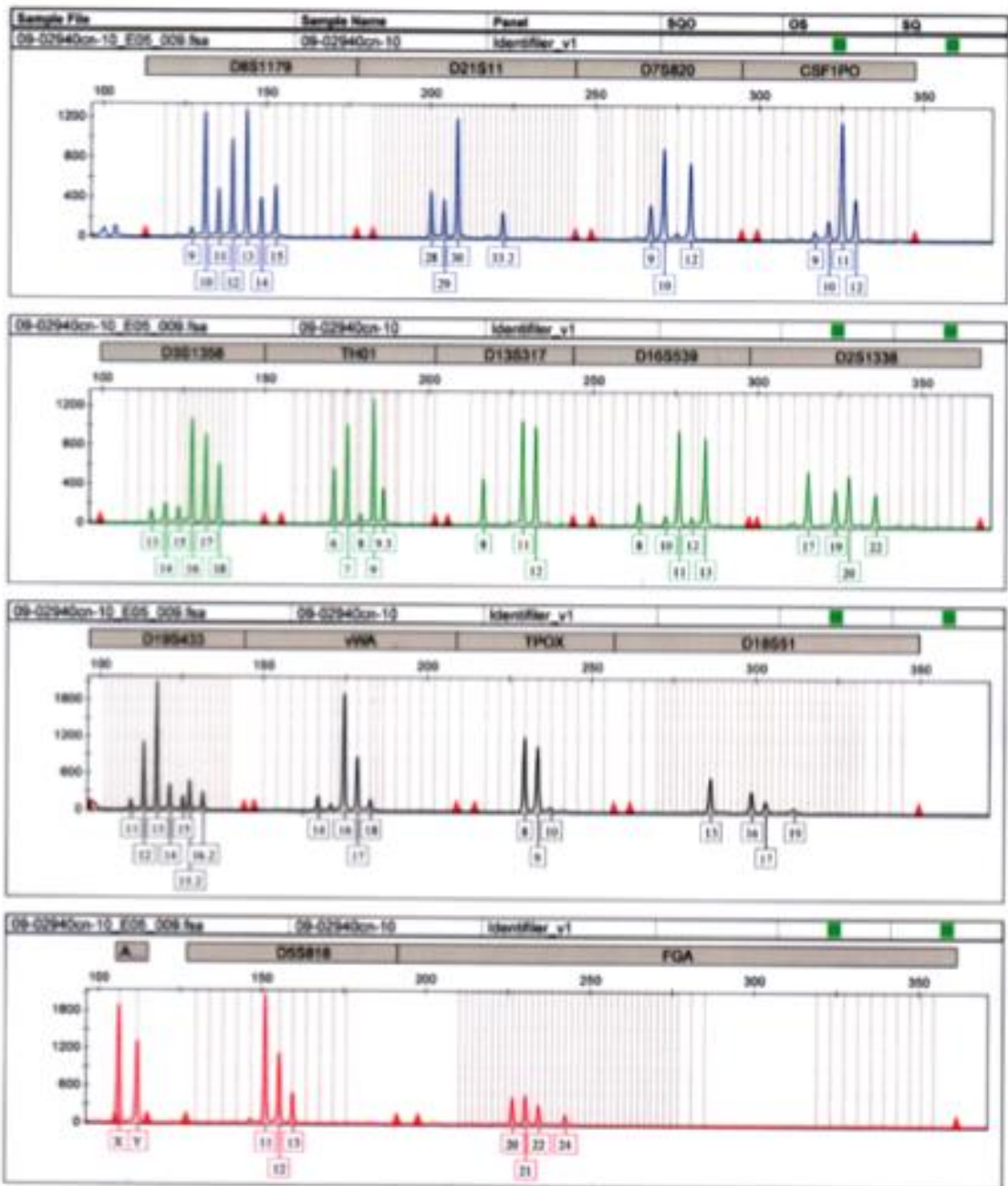


Figure 34 Exemple de mélange d'ADN plus complexe

5.2.1. Pertinence du prélèvement

Deux écoles s'opposent : l'une préconise l'ignorance du contexte de l'affaire et de se tenir à l'analyse des scellés en fonction de la qualification de l'infraction (par exemple rechercher du liquide spermatique dans le cas d'une affaire d'agression à caractère sexuel), l'autre estime que l'examen d'un dossier et des scellés ne peut se faire qu'en ayant pris connaissance des faits.

En fait, les deux écoles doivent coexister car il y a tout simplement des affaires simples et d'autres complexes. L'expert doit exploiter au mieux les scellés à disposition.

S'agissant de prélèvements standardisés (prélèvements sur écouvillons), le rôle de l'expert se « limite » à obtenir un profil génétique exploitable pour permettre son enregistrement au FNAEG. Pour des affaires plus complexes, il peut être nécessaire de se rapporter au contexte, c'est notamment le cas d'un viol où un vêtement appartenant à la victime est transmis au laboratoire pour analyse. Du sperme est détecté sur le vêtement et le profil génétique établi. Si toutefois, connaissance prise de la procédure et en particulier du procès verbal des déclarations de la victime, il apparaît que l'auteur lui aurait arraché le vêtement et que ladite victime aurait par ailleurs eu des relations consenties avec son partenaire, un examen plus poussé du vêtement pourra faire apparaître une déchirure sur un côté. Un prélèvement réalisé au niveau de cette déchirure permettra alors de caractériser un ADN masculin différent de celui obtenu à partir du liquide spermatique. Seul l'ADN masculin mis en évidence à partir de la déchirure sera transmis au FNAEG.

5.2.2. Pertinence du résultat

L'obtention d'un profil génétique à partir du sang de la victime présent sur ses vêtements n'est pas significative, mais il en va tout autrement si l'on trouve son sang sur les chaussures de l'auteur présumé.

Trouver un ADN identique à celui du mis en cause à partir de la salive prélevée sur un mégot dans le cendrier chez la victime, semble à priori un résultat intéressant. Il le devient moins si la victime et le mis en cause se connaissent.

La détection de liquide spermatique sur un drap sur lequel se sont déroulés des faits de viol semble être un résultat intéressant, sauf si ce drap appartient à l'auteur du délit ! L'expert doit alors tout mettre en œuvre pour établir la preuve de la présence d'indices biologiques susceptibles d'appartenir à la victime.

5.2.3. Exhaustivité des prélèvements

Certaines affaires requièrent un niveau maximal d'exhaustivité.

Le caractère couplé des prélèvements s'impose en cas de viol en réunion. L'exemple d'un scellé constitué d'un drap sur lequel se sont déroulés des faits de viol en réunion l'illustre particulièrement bien : cela permet de recueillir les profils génétiques de tous les auteurs présumés. Cette recherche est facilitée par la mise en œuvre de la technique d'orientation détectant les phosphatases acides (voir paragraphe 3.3.1) qui permet de « cibler » les endroits susceptibles de supporter du liquide spermatique. Les taches positives apparaissent sous forme de taches, gouttelettes, ou de zones larges et diffuses, toutes soumises à l'analyse génétique.

Tendre à l'exhaustivité des prélèvements s'avère important pour d'autres types d'affaires telles que les associations de malfaiteurs ou les vols à main armée. Un grand nombre de scellés, variés, est transmis au laboratoire pour analyses (vêtements, objets, outils, armes...). Ces objets ne supportent généralement aucune trace suspecte apparente et les prélèvements à effectuer sont du type des traces de contact. L'objectif est de détecter les personnes qui ont été au contact de ces objets pour déterminer leur profil génétique. Il est évident que dans ce cas, on ne peut être exhaustif en matière de prélèvements, ce qui appelle une stratégie adaptée à la variété des objets concernés. On opère tout d'abord à l'aide d'une source lumineuse à longueur d'onde variable (crimescope) pour des objets comme les draps afin de repérer des zones fluorescentes, témoins potentiels de fluides biologiques. Des prélèvements systématiques sont réalisés au niveau d'un

goulot ou de la zone de préhension d'une bouteille, à l'endroit des nœuds et des extrémités d'une corde ou encore sur un col ou les poignets d'un vêtement etc.

5.2.4. Fiabilité des résultats – évaluation statistique

Les résultats sont toujours assortis d'une valeur statistique. L'affirmation selon laquelle l'empreinte génétique de chaque individu est absolument unique se réfère à l'ensemble du génome. Or, les tests d'ADN en criminalistique ne se font que sur quelques régions de l'ADN, actuellement en France, 17 régions non-codantes de l'ADN extrêmement variables d'une personne à l'autre. La chance est quasi inexistante que deux personnes (autres que de vrais jumeaux) portent exactement les mêmes séquences et présentent la même empreinte génétique pour les régions que l'on soumet aux tests. Néanmoins, il existe un risque de coïncidence fortuite tel que le profil génétique établi à partir d'un élément provenant d'une personne (sang ou salive) soit identique à celui de la trace prélevée sans pour autant qu'elle en soit à l'origine. Pour cela, nous calculons de façon statistique, la fréquence d'apparition de ce profil génétique dans la population.

Pour chaque région d'ADN étudiée, nous disposons des fréquences d'apparition des allèles observées dans des populations de référence, composées de personnes non apparentées entre elles.

A partir de ces fréquences observées, la probabilité d'apparition du profil génétique considéré dans la population de référence est calculée en multipliant successivement entre elles, les fréquences des allèles pour chaque région d'ADN étudiée.

À titre d'exemple :

- région d'ADN analysée N°1 : 11-13 ... 1 individu/10 ;
- région d'ADN analysée N°2 : 18-19 ... 1 individu/50 ;
- région d'ADN analysée N°3 : 8-11 ... 1 individu/40 ;
- la fréquence résultante pour la présence simultanée de ces 3 régions d'ADN est =
 $1/10 \times 1/50 \times 1/40 = 1/20000$ 1 individu/20000

La valeur probante des STR du chromosome Y est plus limitée puisque chaque haplotype est possédé par plusieurs hommes dans la population, notamment tous ceux d'une même lignée paternelle (frères, cousins...). Le calcul précédent ne s'applique pas dans ce cas, car les fréquences d'apparition des allèles détectés ne sont pas indépendantes, puisque la transmission des STR Y se fait en bloc d'une génération à l'autre. Le résultat est donc donné en fréquence de l'haplotype observé par rapport à une base de données alimentée par un grand nombre de laboratoires qui compilent tous les haplotypes qu'ils ont déterminés.

5.3. La déposition en cour d'assises

L'expert en cour d'assises doit exposer clairement ses résultats, sans y apporter d'éléments nouveaux. Il est de sa responsabilité de présenter ses résultats de façon claire et fluide sans occulter les éventuelles difficultés rencontrées qui peuvent réduire leur pertinence et dont tiendront compte ou non les magistrats, avocats et jurés.

6. Conclusion

Il est indéniable que les enquêtes criminelles ont beaucoup bénéficié de l'apport des progrès dans l'analyse génétique et de l'évolution fulgurante des moyens de cette analyse. Ce chapitre trace les principales techniques à la disposition de l'expert en police scientifique pour identifier ou comparer les traces biologiques d'une scène de crime. Toutefois, il est mis en avant la grande difficulté de maîtrise de l'interprétation de cette analyse dans le cadre de la génétique judiciaire qui requiert à tous les stades de l'enquête policière, scientifique et judiciaire une connaissance parfaite de ses limites et de ses écueils. Force est de constater cependant que la progression du nombre d'affaires criminelles élucidées grâce aux microsatellites est très

significatif et sans cesse en augmentation. Le rapport parlementaire n°2857 présenté à l'assemblée nationale le 14 octobre 2010 indiquait que le FNAEG qui comportait alors 1,5 million de profils, a réalisé 42 616 rapprochements impliquant 101 319 profils génétiques [32]. L'Institut national des hautes études de la sécurité et de la Justice (INHEJ) indiquait quant à lui, des chiffres supérieurs en décembre 2010, 1 707 254 empreintes répertoriées et 108 698 rapprochements d'affaires, en mai 2012 ces chiffres sont respectivement 2 221 682 et 166 415 [33]. Au 1^{er} septembre 2013, 2 547 499 empreintes correspondant à 430 298 condamnés et 1 911 675 mis en cause et 205 526 non identifiées [34].

7. Bibliographie

1) Recommandation R(92)1 du comité des Ministres aux états membres sur l'utilisation des analyses de l'ADN dans le cadre du système de justice pénale.

<https://wcd.coe.int/com.instranet.InstraServlet?command=com.instranet.CmdBlobGet&InstranetImage=573835&SecMode=1&DocId=601432&Usage=2>

2) loi N° 94-653 du 29 juillet 1994, relative au respect du corps humain

<http://legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000549619>

3) décret n° 97-109 énonçant les conditions d'agrément des personnes habilitées à procéder à des identifications génétiques

http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=0ACA9A3F1EF5217571B60A9D179126A5.tpdjo02v_3?cidTexte=JORFTEXT000000382296&categorieLien=id

4) Loi n° 98-468 du 17 juin 1998, porte création du Fichier National Automatisé des Empreintes Génétiques (FNAEG)

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000556901>

<http://www.justice.gouv.fr/bulletin-officiel/dacg83d.htm#11>

5) Décret n°2000-413 du 18 mai 2000 modifiant le code de procédure pénale (deuxième partie : Décrets en Conseil d'Etat) et relatif au fichier national automatisé des empreintes génétiques et au service central de préservation des prélèvements biologiques

http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexteArticle.do;jsessionid=8420C9ECA0E3DD921EB531A22A6EBA78.tpdjo09v_1?cidTexte=JORFTEXT000000399349&idArticle=LE-GIARTI000006499643&dateTexte=20000519&categorieLien=cid

6) Arrêté du 18 mai 2000 fixant la liste des segments d'ADN sur lesquels portent les analyses génétiques pratiquées aux fins d'utilisation du fichier national des empreintes génétiques.

http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=7A4924066A31A37DC5490259BE28BB83.tpdjo14v_1?cidTexte=JORFTEXT000000581681&categorieLien=id

7) loi 2001-1062 du 15 novembre 2001 relative à la sécurité quotidienne

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000222052>

8) Arrêté du 14 février 2002 révisé l'article A38 du CPP Arrêté du 14 février 2002 fixant la liste des segments d'ADN sur lesquels portent les analyses génétiques pratiquées aux fins d'utilisation du fichier national des empreintes génétiques.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000776992&fastPos=15&fastReqId=270651292&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>

http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=20020306&numTexte=9&pageDebut=04219&pageFin=04219

9) Décret n° 2002-931 du 11 juin 2002 modifiant le décret n° 97-109 du 6 février 1997 Décret n°2002-931 du 11 juin 2002 modifiant le décret n° 97-109 du 6 février 1997 relatif aux conditions d'agrément des personnes habilitées à procéder à des identifications par empreintes génétiques dans le cadre d'une procédure judiciaire et le décret n° 74-1184 du 31 décembre 1974 relatif aux experts judiciaires.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000005633118>

10) Loi 2003-239 du 18 mars 2003 pour la sécurité intérieure prévoit l'élargissement du FNAEG

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000412199>

11) Décret n° 2004-471 du 25 mai 2004 modifiant le décret n° 97-109 du 6 février 1997 relatif aux conditions d'agrément des personnes habilitées à procéder à des identifications par empreintes génétiques dans le cadre d'une procédure judiciaire.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000803087>

12) La loi du 9 mars 2004 portant adaptation de la justice aux évolutions de la criminalité

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000249995&categorieLien=id>

13) Décret n° 2004-470 du 25 mai 2004 modifiant le code de procédure pénale (deuxième partie : Décrets en Conseil d'Etat) et relatif au FNAEG

http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=19C1394DA02B7A9EA06356B54FD4C275.tpdjo04v_2?cidTexte=JORFTEXT000000438704&categorieLien=id

14) Arrêté du 23 octobre 2006 fixant la liste des segments d'ADN sur lesquels portent les analyses génétiques pratiquées aux fins d'utilisation du FNAEG

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000819249&fastPos=1&fastReqId=288382103&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>

http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=20061130&numTexte=42&pageDebut=18027&pageFin=18028

15) Blum LJ, Esperança P, Rocquefelte S. A new high-performance reagent and procedure for latent bloodstain detection based on Luminol chemiluminescence.

Canadian Society of Forensic Science Journal 2006 ; 39 (3) : 81-100

http://www.bluestar-forensic.com/pdf/en/CSFS_vol39_bluestar_blum.pdf

16) Dilbeck L Use of Bluestar Forensic in Lieu of Luminol at Crime Scenes Journal of Forensic Identification. 2006 ; 56 (5) :706-720.

17) Gross AM et al., Harris KA, Kaldun GL. The Effect of Luminol on Presumptive Tests and DNA Analysis Using the Polymerase Chain Reaction Journal of Forensic Science 1999 ;44 (4) :837-840

<http://projects.nfstc.org/workshops/resources/literature/The%20Effect%20of%20Luminol%20on%20Presumptive%20Tests%20and.pdf>

18) Jakovich CJ. STR Analysis Following Latent Blood Detection by Luminol, Fluorescein, and BlueStar. Journal of Forensic Identification. 2007 ; 57 (2) : 193-198.

http://www.bluestar-forensic.com/pdf/en/STR_validation_study.pdf

19) Cox M. A study of the sensitivity and specificity of four presumptive tests for blood, » journal of forensic Sciences 1991 ; 36 : 1503-1511.

<http://projects.nfstc.org/workshops/resources/articles/A%20Study%20of%20the%20Sensitivity%20and%20Specificity%20of%20Four.pdf>

20) Tobe SS, Watson N, Daéid NN. Evaluation of Six Presumptive Tests for blood, J forensic Sci, 2007 ; 52 (1) : 102-109.

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1556-4029.2006.00324.x/abstract;jsessionid=09C81643A2E342B348E0CB7801F62A31.f01t02?deniedAccessCustomisedMessage=&userIsAuthenticated=false>

21) Hochmeister MN, Budowle B, Sparkes R, Rudin O, Gehrig C, Thali M, Schmidt L, Cordier A, Dirnhofer R Validation studies of an immunochromatographic 1-step test for the forensic identification of human blood. J Forensic Sci. 1999 ; 44(3) : 597-602

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10408117>

22) Hermon D, Shpitzen M, Oz C, Glattstein B, Azoury M, Gafny R. The Use of the Hexagon OBTI Test for Detection of Human Blood at Crime Scenes and on Items of Evidence Part 1 : Validation Studies and Implementation. Journal of Forensic Identification. 2003 ; 566/53(5) :

http://www.bluestar-forensic.com/pdf/en/hexagon_obti_JFI.pdf

23) Johnston E, Ames CE, Dagnall KE, Foster J, Daniel BE. Comparison of Presumptive Blood Test Kits Including Hexagon OBTI. J Forensic Sci. 2008 may, 53 (3) : 687-689.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18471215>

24) Saferstein R. Criminalistics an introduction to forensic science, ninth édition. Pearson international édition, chapter 12 page 368.

25) Casey DG, Price J. The sensitivity and specificity of the RSID™-saliva kit for the detection of human salivary amylase in the Forensic Science Laboratory, Dublin, Ireland. Forensic Science International. 2010 ; 194 (1-3) : 67-71.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379073809004204>

26) Vandenberg N, Van Oorshot RA. The use of polilight in the détection of Seminal Fluid, Saliva, and Bloodstains and Comparison with Conventional Chemical-Based Screening Tests. J. Forensic. Sci. March 2006 ; 51(2) : 361-370.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16566772>

27) Higuchi R, Fockler F, Dollinger G, Watson R. Kinetic PCR Analysis: Real-time Monitoring of DNA Amplification Reactions. Watson³Nature Biotechnology . 1993 ; 11 : 1026 - 1030 (1993)

<http://www.nature.com/nbt/journal/v11/n9/abs/nbt0993-1026.html>

28) La PCR quantitative en temps réel ou la « Taqman ». Centre de recherche et d'application des thérapies génique. Généthon 2001.

<http://meleze.ensam.inra.fr/biochimie/td/UB/TD/VMJ-taqman.pdf>

29) Jeffreys AJ, Wilson V, Thein SL. Hypervariable 'minisatellites' régions in human DNA. Nature. 1985 ; 314(7) : 67-73.

<http://nar.oxfordjournals.org/content/16/23/10953>

30) Jeffrey A. Wilson V, Neumann R, keyte J. Amplification of human minisatellites by the polymérase chain réaction : towards DNA fingerprinting of single cells. Nucl. Acids Res. 1988 ; 16 (23) : 10953-71.

31) Mullis K, Faloona F, Scharf S, Saiki R, Horn G, Erlich H. Specific enzymatic amplification of DNA in vitro: the polymerase chain reaction. Cold Spring Harb Symp Quant Biol. 1986 ; 51 Pt 1 :263-73.

32) Rapport parlementaire n°2857. Commission des finances, de l'économie générale et du contrôle budgétaire sur le projet de loi de finance 2011 (n°2824). Annexe 40 Sécurité Rapporteur Michel Diefenbacher.

<http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.assemblee-nationale.fr/13/budget/plf2011/b2857-tIII-a40.asp&title=%5B3%5D>

33) Bauer A. Zoom sur la police technique et Scientifique. Bulletin mensuel de l'observatoire national de la délinquance et des réponses pénales. ONDRP. 2012 (juin) : p12-13.

http://www.inhesj.fr/sites/default/files/bm_juin_2012_bd.pdf

34) Réponse du ministre de l'intérieur à la question n°40427 à l'assemblée nationale par Serge Coronado. Publiée au JORF le 5 août 2014.

<http://questions.assemblee-nationale.fr/q14/14-40427QE.htm>

Chapitre 10. Expertise en matière d'incendies

H. Viellard

1. Introduction

Une des particularités de l'enquête pour déterminer l'origine et les causes de l'incendie réside dans le fait que le feu détruit les indices. L'enquêteur doit donc examiner ce qui subsiste après l'incendie et recueillir des informations pour reconstituer l'état du site avant l'incendie et déterminer les événements qui ont conduit à la naissance et au développement du feu.

Compte tenu de l'importance économique des dommages causés par les incendies, de nombreux ouvrages traitent du sujet.

En 2008, la littérature est abondante. Plusieurs ouvrages considérés comme des références ont connu de nouvelles éditions. Nous citerons le guide intitulé *NFPA 921 : Guide For Fire and Explosion Investigation* [1]. Si le guide de la National Fire Protection Agency (NFPA) n'a pas le statut d'une norme, il est fortement recommandé aux enquêteurs d'en suivre la méthodologie par une approche systématique :

- la mission doit être clairement notifiée à l'enquêteur ;
- l'enquêteur planifie l'enquête et rassemble les outils, les équipements et le personnel ;
- les lieux du sinistre sont examinés et les informations le concernant sont recueillies ;
- les indices matériels sont prélevés, décrits, analysés et évalués ;
- la méthode scientifique est utilisée pour analyser l'information obtenue.

L'application de la méthode aux différents types d'incendie rencontrés dans la pratique (incendies de véhicules, incendies d'origine électrique) est ensuite exposée.

Aux Etats-Unis, devant les tribunaux, les experts doivent respecter la méthodologie du Guide NFPA 921 ou justifier les raisons pour lesquelles ils ne l'ont pas suivie.

En même temps paraît la 3^{ème} édition de l'ouvrage *An Introduction to Fire Dynamics* de Dougal Drysdale (*on line depuis juillet 2011*) [2]. Cet ouvrage fondamental met en évidence que l'étude des incendies ne peut pas se limiter à la connaissance des caractéristiques physico-chimiques des matériaux concernés mais qu'il est important de tenir compte de leur disposition et de leur environnement. Il est donc fait appel à la chimie mais aussi à la thermodynamique (transfert de chaleur), la dynamique des fluides.

Au moment où nous écrivons ces lignes, vient de paraître « Incendies et explosions d'atmosphère » par Jean-Claude Martin aux Presses Polytechniques et Universitaires Romandes [3]. Cet ouvrage important constitue une méthodologie de l'expertise fondée sur la physique des phénomènes qui régissent les incendies et qui s'appuie sur de nombreux exemples de feux réels.

Notre contribution ne peut pas couvrir un champ aussi vaste que celui qu'abordent ces trois ouvrages. Notre but est de présenter une synthèse accessible à un large public qui souhaite connaître la démarche des experts en matière d'incendie et d'explosions sans devoir approfondir les bases scientifiques sur lesquels ils s'appuient. Il convient d'ailleurs de remarquer que s'il est important de pouvoir déterminer par le calcul les températures atteintes, les flux d'énergie, la chronologie de l'évolution des incendies, ces déterminations font encore l'objet de nombreuses études rendues compliquées par le nombre des variables à prendre en compte et la difficulté de disposer d'une connaissance précise des valeurs de toutes ces variables. Les modélisations rendues possibles par le développement de codes informatiques, constituent une contribution intéressante, mais elles font aussi appel à des hypothèses simplificatrices et résolvent parfois le problème de l'insuffisance de la connaissance des grandeurs réelles en recourant à des valeurs probables déterminées

à partir des valeurs provenant des incendies réels ou d'essais en vraie grandeur. La démarche est prometteuse et elle fait l'objet de nombreuses recherches que nous évoquerons dans un paragraphe intitulé « Ingénierie de la sécurité incendie ».

2. Définitions

Les notions de feu et d'incendie sont tellement familières qu'il paraît superflu de s'y attarder. Le fait que tous les organismes normalisateurs y aient travaillé montre que le problème n'est pas si simple.

Nous retenons les définitions les plus simples et les plus généralement admises :

- *L'incendie est une combustion incontrôlée.*
- *La combustion est une destruction par le feu.*
- *Le feu est une réaction d'oxydation rapide auto-entretenu qui s'accompagne de chaleur et d'émission lumineuse.*

3. Mécanisme de la combustion

3.1. Conditions d'apparition des flammes

Le feu implique donc la présence simultanée d'un combustible (réducteur), d'un comburant (oxydant) et d'un apport d'énergie.

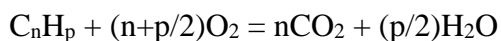
La flamme est un milieu réactionnel gazeux hautement énergétique où se produisent et s'entretiennent des réactions chimiques, des phénomènes de diffusion d'espèces chimiques et de chaleur, ainsi que des émissions lumineuses.

D'une manière générale, les combustions se produisent en milieu gazeux. La combustion implique, sous l'effet d'une source de chaleur, les étapes suivantes :

- les solides commencent à se liquéfier ou à se sublimer sous l'effet de la chaleur ;
- les liquides se vaporisent ;
- les vapeurs en mélange avec l'air s'enflamment.

L'inflammabilité des solides, des liquides et des gaz dépend de leur nature chimique et de leurs caractéristiques physiques : point de liquéfaction, température d'ébullition. Mais elle dépend aussi de leur état de division, de leur surface apparente.

Il existe une infinité de produits inflammables. Le solide inflammable le plus simple et le plus courant est le carbone alors que le gaz inflammable le plus simple est l'hydrogène. Les hydrocarbures, de formule générale C_nH_p , sont tous inflammables selon la réaction :



Cette réaction est très simplifiée. La combustion du méthane passe par de nombreuses étapes intermédiaires par lesquelles des radicaux libres sont produits et se combinent pour enfin se désactiver.

La flamme de la bougie donne un bon exemple de la combustion des solides.

La bougie ne brûle pas. Pour l'allumer, on chauffe la cire qui imprègne la mèche. La cire fond, les composés les plus légers de la cire liquide se vaporisent en même temps que les composés plus lourds se décomposent en produits légers qui se mélangent à l'air sous l'effet de la chaleur.

Toujours sous l'effet de la chaleur les gaz combustibles qui dans le cas présent sont constitués de molécules dans lesquelles sont associés l'oxygène, l'hydrogène et le carbone, réagissent avec l'oxygène de l'air dans

un choc intermoléculaire qui produit de l'énergie. L'énergie apportée au mélange gazeux entraîne la formation de radicaux libres qui sont des espèces chimiques très réactives. La durée de formation-inflammation du mélange est de l'ordre de la milliseconde. Cette énergie entretient la fusion (rayonnement) de la cire en partie haute de la bougie. La cire liquéfiée monte dans la mèche, se vaporise, se décompose en produit gazeux inflammable et le processus s'auto-entretient.

Dans la flamme et autour de la flamme, des mouvements de gaz se produisent qui alimentent la combustion en air suivant le principe d'Archimède (les gaz chauds montent) et par l'aspiration d'air du fait de la diminution du volume d'oxygène consommé par la combustion.

Si cet exemple de la bougie peut paraître un exemple simple il conserve son intérêt notamment parce que les bougies sont souvent utilisées pour initier des incendies volontaires en permettant de constituer des systèmes à retard simples et fiables. Les bougies sont de plus encore à l'origine de nombreux incendies accidentels.

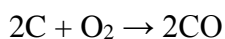
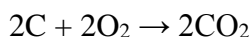
Une publication relativement récente [A. Hammins, M. Bundy, S.E. Dillon, *Journal of Fire Protection Engineering*. Nov. 2005] [4] lui est consacrée. Elle rapporte l'étude théorique et expérimentale de la flamme de la bougie et conclut que de nombreux travaux restent à effectuer pour déterminer la propagation de la flamme aux matériaux environnants. L'exemple de la bougie reste donc d'actualité pour illustrer le phénomène de la combustion et démontre la complexité des phénomènes physiques qui interviennent dans l'incendie.

Les flammes sont les manifestations lumineuses et thermiques qui accompagnent les combustions vives.

3.2. Les gaz de pyrolyse

Parmi les gaz combustibles qui résultent de la combustion et qui l'entretiennent, nous mentionnerons le monoxyde de carbone (CO), le méthane (CH₄), l'hydrogène (H₂) et le benzène (C₆H₆). L'hydrogène et le méthane proviennent de la désactivation des radicaux les plus simples qui proviennent de la fragmentation sous l'effet de la chaleur (pyrolyse) des molécules des composés organiques. La formation du monoxyde de carbone et du benzène joue un rôle important dans les incendies.

Le monoxyde de carbone se forme dans toutes les combustions réelles de tous les produits organiques rencontrés dans les incendies, c'est-à-dire les composés chimiques contenant du carbone qui peut être associé à l'hydrogène, l'oxygène, l'azote et d'autres éléments. Le monoxyde de carbone se forme selon les schémas réactionnels simplifiés de la combustion du carbone



Cette 2^{ème} réaction correspond à une combustion incomplète. Elle intervient toujours dans les incendies réels car il existe toujours une zone des flammes dans laquelle la concentration d'oxygène n'est pas suffisante pour la 1^{ère} des deux réactions qui aboutit à la formation du dioxyde de carbone.

Ces réactions extrêmement schématiques ne tiennent pas compte du fait que l'oxygène est apporté par l'air constitué de 78% d'azote, de 21% d'oxygène et de 1% de gaz rares. Dans les flammes, la présence de l'azote provoque des réactions qui produisent notamment des oxydes d'azote.

La température d'auto inflammation du monoxyde de carbone est de 615° C. La température d'auto inflammation du méthane est de l'ordre de 600° C. Ces valeurs de température d'auto inflammation de l'ordre de 600° C expliquent l'apparition de phénomènes particuliers tels que l'embrasement éclair généralisé sur lesquels nous reviendrons plus loin.

La structure électronique du benzène lui confère une très grande stabilité. Il en résulte que dans les réactions de pyrolyse la recombinaison des radicaux libres conduit à la production de benzène. L'analyse des prélèvements de résidus carbonisés après incendie fait toujours apparaître la présence de benzène. De la même

manière le benzène est présent dans les poumons de toutes les victimes d'incendie. Cette présence est observée après les incendies, quelle que soit la nature des combustibles, y compris les combustibles d'origine végétale telle que le bois.

3.3. Le triangle du feu

Pour illustrer les conditions à rassembler pour que se produise un incendie, les pompiers proposent une schématisation par le triangle du feu. C'est une présentation pédagogique commode des conditions nécessaires à la naissance d'un incendie que nous avons exposées par l'approche des réactions d'oxydo-réduction.

Les sommets du triangle représentent le combustible, le comburant, et l'énergie. Certaines représentations font appel à un tétraèdre dans lequel la source d'inflammation constitue le quatrième sommet.

En fait chaque sommet du triangle ou du tétraèdre du feu fait l'objet de développements. La détermination des causes d'un incendie consiste à identifier chacun des sommets et les relations qui les unissent.

L'énergie et le combustible sont liés par la notion de pouvoir calorifique qui est la quantité d'énergie que peut dégager le combustible lors de sa combustion.

3.3.1. Les limites d'inflammabilité

Les limites d'inflammabilité sont les quantités relatives de combustible et d'air, entre lesquelles le combustible peut donner lieu aux réactions de combustion. Au-dessous de la limite inférieure d'inflammabilité, la quantité de combustible est trop faible pour donner lieu à la combustion. Au-dessus de la limite supérieure d'inflammabilité, la quantité d'oxygène est trop faible pour permettre la combustion (tableau 1).

Pour calculer les limites inférieures (ou supérieures) d'inflammabilité des mélanges on utilise en général la relation de Le Chatelier mise sous la forme :

$$L = 100 / [P_1/N_1 + P_2/N_2 + P_3/N_3 + \dots]$$

L étant la limite inférieure (ou supérieure) du mélange final en %, $P_1, P_2, P_3 \dots$ les pourcentages de chacun des combustibles avec ($\sum P_i = 1$) et $N_1, N_2, N_3 \dots$ les limites inférieures (ou supérieures) en % de chacun des constituants.

Gaz ou vapeurs	Limites d'inflammabilité dans l'air	
	L_i %	L_s %
Méthane	5	15
Éthane	3	12,5
Propane	2,2	9,5
Butane	1,9	8,5
Hydrogène	4	75
Oxyde de carbone	12,5	74
Acétone	2,6	13
Benzène	1,3	7,8
Éthanol	3,3	19
Essence auto	1,4	7,4

Tableau 1 Limites d'inflammabilité de quelques combustibles

Remarquons que les limites d'inflammabilité dépendent, pour un mélange donné de gaz combustible et d'air, non seulement de la pression et de la température de ce mélange, mais encore, quoique dans une moindre mesure, du volume et de la forme du récipient qui le contient ainsi que de la source d'inflammation. Les valeurs des limites d'inflammabilité que nous avons retenues sont tirées des fiches de l'Institut National de Recherche et de Sécurité [5].

3.3.2. La température d'auto-inflammation

La température d'auto-inflammation est la température à partir de laquelle une substance inflammable s'enflamme même en absence d'une source d'inflammation supplémentaire.

Il est important de comprendre que l'inflammation et la combustion d'un mélange gazeux n'impliquent pas que tout le volume occupé par le mélange combustible-comburant ait uniformément une concentration située entre les limites d'inflammabilité ni que tout le volume considéré soit porté à une température supérieure à la température d'inflammation. Il faut et il suffit qu'une source d'énergie soit approchée dans une zone où les concentrations de gaz combustibles et d'oxygène correspondent à la constitution d'un mélange

inflammable, pour que ce mélange s'enflamme localement autour de cette source d'énergie. La combustion, par le dégagement d'énergie qu'elle provoque, se propagera de proche en proche.

En toute rigueur, les limites d'inflammabilité n'ont de sens que dans un système fermé. C'est par exemple le cas d'un véhicule. Nous avons à plusieurs reprises démontré à l'occasion de reconstitutions judiciaires, qu'il n'était pas possible de mettre à feu les vapeurs d'essence résultant d'un déversement à l'intérieur d'un véhicule si les fenêtres étaient fermées.

Dans un bâtiment, il existe généralement un volume suffisant pour qu'autour de la source d'énergie, la quantité d'air soit suffisante pour initier la combustion.

3.4. Évolution de la combustion

Après la mise à feu initiale, plusieurs situations peuvent se produire selon la quantité de comburant disponible.

3.4.1. La combustion lente

Si les locaux sont hermétiquement clos et que la quantité de combustible est suffisante, la combustion devient incomplète du fait de la raréfaction de l'air et produit une quantité importante de monoxyde de carbone et de fumées. Il se produit une *combustion lente* dite aussi *feu couvant*. La combustion lente est une combustion sans flamme vive. Elle se produit dans les habitations lorsqu'une source de chaleur (cigarette, résistance chauffante) est au contact de matières inflammables, tissus de literies, garnissages de meubles. Les combustions lentes se produisent aussi fréquemment lors de travaux par points chauds à proximité d'éléments de charpentes en bois. Ces combustions lentes entraînent généralement l'incandescence des matériaux combustibles qui peut passer inaperçue plusieurs heures et même plusieurs jours, jusqu'à ce que la combustion amène les matières en combustion en contact avec l'air. Si le milieu est ouvert, le feu se développe alors sous l'effet de la disponibilité d'oxygène.

Si des occupants sont restés à l'intérieur de locaux dans lesquels se produit une combustion lente, il est probable qu'ils mourront en raison d'une intoxication oxycarbonée aggravée par l'inhalation de gaz chauds et de fumées.

Il arrive que les feux couvants en espace clos s'éteignent d'eux-mêmes, laissant les locaux couverts de suie.

Il est fréquent que des ouvertures existent dans le bâtiment ou, qu'au cours de l'incendie, des portes soient ouvertes, des vitres brisées, et qu'un courant d'air puisse s'établir pour évacuer les gaz de combustion en partie haute de l'ouverture et faire entrer de l'air frais en partie basse. Les conditions pour le passage à une combustion vive sont alors remplies.

3.4.2. La combustion vive

Lorsque la quantité d'oxygène est suffisante pour assurer la combustion des combustibles présents (ouverture des issues, grands volumes tels que les entrepôts), les flammes initiales propagent des gaz à une température qui varie de 600° C à plus de 1 200° C. Ces gaz chauds s'élèvent et propagent l'incendie par contact direct avec les matériaux inflammables présents. Parallèlement, le rayonnement des flammes provoque la propagation à distance.

4. L'enquête judiciaire après incendie

4.1. Les objectifs de l'enquête

Supposé connaître les bases physiques et chimiques de l'incendie, leur fondement théorique, leurs développements, l'expert choisi en raison de l'expérience qu'il a connue de nombreux cas d'incendies, se voit confier par le Magistrat une mission dans laquelle il lui est demandé notamment, de « *donner son avis sur les causes et origines de l'incendie survenu* ».

L'enquête après incendie peut viser plusieurs objectifs, correspondre à plusieurs motivations, utiliser plusieurs méthodes.

D'une manière générale, la détermination des causes d'un incendie est utile pour déterminer la réparation des préjudices et pour améliorer la prévention contre les risques d'incendie.

Des incendies célèbres ont conduit à la naissance et à l'amélioration de la réglementation sur les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public et les immeubles de grande hauteur, dans les établissements industriels (installations classées), dans les immeubles d'habitation.

Citons l'incendie du Bazar de la Charité, les incendies dans les théâtres au 19^{ème} siècle (un incendie tous les sept ans dans chaque théâtre), les incendies dans les cinémas au début du 20^{ème} siècle.

Rappelons également que l'incendie du dancing « 5-7 » à St Laurent du Pont en 1971, a conduit à des travaux importants sur la toxicité des fumées émises par la combustion des matériaux plastiques.

Pour les assureurs, l'importance du dommage et les motivations d'un incendiaire éventuel (fraude à l'assurance) justifient le déclenchement d'une enquête pour rechercher les causes des incendies.

Quand le projet d'assurances contre l'incendie lui a été proposé, Napoléon Bonaparte n'y était pas favorable. « Messieurs, vous voulez que la France brûle » a-t-il commenté.

4.1.1. L'enquête préliminaire et l'enquête pénale

L'enquête préliminaire et l'enquête pénale visent généralement à déterminer si l'incendie est dû à un acte volontaire, à une faute, à une imprudence, à une négligence, à une cause accidentelle. La Police Judiciaire recherche un auteur et l'expert tente de savoir ce qui s'est produit.

Selon les pays et les auteurs, le pourcentage d'incendies volontaires est estimé de 25 à 50%.

Si un auteur peut être désigné par des aveux ou par des témoignages, l'expert doit confronter ces aveux ou ces témoignages aux indices qu'il peut trouver sur les lieux sinistrés.

Il est arrivé que des affabulateurs en recherche de notoriété ou des maîtres chanteurs revendiquent la commission d'incendies en décrivant parfois un procédé que l'expertise démontre improbable ou impossible.

Sauf dans le cas où il existe des témoignages ou des aveux, la qualification d'incendie volontaire par l'expert doit s'appuyer sur une recherche technique précise des indices qui l'a conduit à éliminer toute possibilité d'un incendie accidentel. Ensuite, l'expert ne doit pas retenir un scénario qui compense l'insuffisance d'indices matériels par l'intervention d'un incendiaire dont l'identité et les actions sont inconnues. En absence d'éléments matériels précis, il est en effet possible d'imaginer une infinité de scénarios qui aboutissent au même résultat. Des aveux et des témoignages sont alors déterminants.

Parmi les éléments matériels déterminants pour la qualification de l'incendie volontaire, nous retenons : la découverte d'un système de mise à feu ou de ses vestiges, les foyers multiples indépendants et simultanés, la présence d'accélérateurs, la rapidité des premières étapes de l'incendie qui ne peut pas être expliquée par la nature et la disposition des combustibles présents, l'absence de source d'énergie à l'emplacement du foyer initial.

Parmi les systèmes à retard retrouvés citons l'association de bougie faisant retard à des « mèches de papier » et le déclenchement à distance par un téléphone modifié relié à un allumeur électrique.

Lorsque les analyses indiquent la présence d'accélérateurs, il est essentiel de démontrer que cette présence n'est pas normale. La présence d'éthanol dans un bar n'est pas une preuve d'utilisation d'un accélérateur pour commettre un incendie volontaire. La présence d'essence sous un véhicule à essence est « normale ». La présence d'essence de térébenthine sur un parquet ciré est également « normale ».

4.1.2. Devant les juridictions civiles

Devant les juridictions civiles il est demandé à l'expert de :

- donner son avis sur les causes et origines de l'incendie survenu ;
- dire si l'incendie provient d'une mauvaise exécution de prestations fournies et/ou d'un défaut de précaution ou d'une négligence à l'occasion de la fourniture de prestations ou encore toute autre cause objective.

En résumé le technicien doit répondre aux questions « Quoi ? » « Où ? » « Comment ? » parfois « Qui ? » mais il n'est pas de sa compétence de répondre à la question « Pourquoi ? »

4.2. Méthodologie de l'enquête

4.2.1. Sur l'origine de l'incendie

La recherche de la zone d'origine de l'incendie impose l'étude du site incendié. Elle procède des démarches suivantes : identification des destructions, recherche de la dynamique du feu, de la direction des destructions, examen en progressant d'une vue générale aux points particuliers.

- Vestiges des matériaux et des installations.
- Recherche du point le plus bas des destructions maximales. Selon le Principe d'Archimède, les gaz chauds montent. Il peut y avoir des destructions importantes à un niveau plus bas que le point d'origine de l'incendie en cas de chute de matériaux inflammables : la chute de pièces de charpente ou de planchers enflammés par exemple. Ceci se produit notamment en cas de feux prolongés.
- Examiner en particulier les dégâts à proximité de sources d'énergie (appareils de chauffage, installations électriques, cheminées, etc.).
- Rechercher la mise en œuvre éventuelle de dispositifs de mise à feu à distance ou avec retard : bougie, systèmes électroniques, mécaniques, accélérateurs (analyses possibilités et limites).
- Recueillir les témoignages et les informations sur le départ et sur les matériaux présents : témoins directs, pompiers, police.

4.2.2. Sur les causes de l'incendie

La naissance d'un incendie suppose que trois conditions soient simultanément remplies en un même lieu (le triangle du feu) :

la présence de combustibles ;

la disponibilité d'un comburant ;

la possibilité d'un apport d'énergie.

La détermination de la cause d'un incendie consiste à identifier la nature des combustibles et de la source d'énergie tout en s'assurant de la disponibilité d'un comburant.

4.2.3. Les combustibles présents

4.2.3.1. Matériaux naturels et organiques

L'examen des lieux incendiés a notamment pour objectif d'identifier tous les objets et matériaux combustibles. Cet examen doit être complété autant qu'il est possible, par les déclarations des occupants ou par des témoins. En cas de nécessité il est possible de procéder à des analyses, qui à partir de l'identification des matériaux carbonisés, permettent de remonter à la nature des matériaux combustibles dont ils proviennent.

Dans la nature, les combustibles sont nombreux.

Plus précisément, la matière vivante et ses produits de dégradation sont constitués principalement de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote et de soufre.

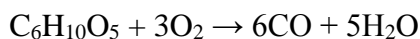
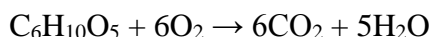
Les hydrocarbures, constituants de tous les produits pétroliers parmi lesquels figure le méthane constituant principal du gaz naturel, sont présents avec une telle abondance de carbone et d'hydrogène, qu'il n'est pas étonnant que les incendies soient fréquents.

4.2.3.2. Le bois

Parmi les matériaux naturels utilisés dans la construction, le bois a occupé depuis longtemps une place privilégiée. C'est un matériau abondant, renouvelable, façonnable, résistant à la traction et à la compression alors que le béton par exemple résiste mal à la pression. Pour des raisons de confort écologique le bois connaît un regain d'intérêt. Il reste cependant un des combustibles les plus fréquents dans les incendies.

Rappel sur la combustion du bois :

Le bois est principalement constitué de cellulose qui brûle théoriquement selon les réactions de principe suivantes :



Le processus évolue dans la pratique en fonction de la température.

Au-dessous de 220° C : déshydratation

Au-dessus de 280° C : pyrolyse, production rapide de gaz inflammables.

Au départ, les gaz de combustion contiennent 10% de CO₂, 33% de CO, 3 à 4% d'autres composés inflammables.

Selon le «*Traité pratique de sécurité du CNPP. Incendie*» [6] (existe sous forme de CD-ROM) les produits émis au cours des différentes étapes de la combustion du bois sont les suivants :

- si T < 100° C : émission de vapeur d'eau ;

- si 100 C < T < 275° C : production de CO₂ (70%) et CO ;

remarque : le chauffage prolongé à 120° C fait devenir le bois pyrophorique (Très facilement inflammable).

- quand 275° C < T < 350° C : émission d'autres gaz combustibles (hydrocarbures) ;

- à partir de T > 450° C : production d'hydrogène, d'hydrocarbures et combustion du charbon qui donne CO et CO₂.

Dans un milieu confiné tel que l'ensemble formé par le platelage et la couverture de zinc, l'insuffisance d'oxygène et l'impossibilité de dissiper l'énergie développée par la combustion provoque l'entretien d'une combustion lente (le feu couvant).

Lors de l'embrasement, les flammes portent leur environnement à une température de 500° à 1 200° C, dans des conditions de ventilation naturelle. Les matériaux inflammables présents dans l'environnement sont

alors portés à une température supérieure à leur température d'inflammation et, si la quantité d'oxygène est suffisante, leur inflammation propage l'incendie par rayonnement et par conduction.

Exemple de feu de bois couvant : l'incendie du Parlement de Rennes

L'incendie du Parlement de Rennes en 1994 constitue un exemple d'incendie important d'une charpente en bois. Au cours d'une dure journée de manifestations violentes, les marins pêcheurs ont lancé des fusées de détresse contre les forces de l'ordre qui défendaient l'accès au Parlement de Bretagne. Certaines de ces fusées à tir tendu, ont traversé les vitres blindées. D'autres ont été tirées à tir indirect. L'une d'entre elles est tombée vers 18 heures dans un chéneau posé sur une sablière sur laquelle s'appuyaient la charpente et un voligeage constitué de planches de bois recouvert d'ardoises. Il n'y avait pas de flammes apparentes. Le bois du voligeage se consumait (feu couvant) à sa face supérieure. Le gardien averti par un détecteur d'incendie signalant la présence de fumée dans les combles s'est déplacé à plusieurs reprises mais n'a rien vu.

A minuit les premières flammes sont apparues au faîte du toit et toute la toiture s'est aussitôt embrasée. Le feu couvant (combustion sans flamme en raison de l'insuffisance d'oxygène), s'était développé sur toute la surface du voligeage jusqu'à minuit.

L'arrivée au faîte du toit a créé une ouverture, un appel d'air et l'oxygénation du foyer. La rapidité de cet embrasement et son étendue ont conduit à la destruction de toute la charpente et de certains bureaux installés dans les combles avant l'arrivée des pompiers. Le feu a pu néanmoins être maîtrisé avant que la chute de pièces enflammées ne détruise les salles des étages inférieurs. De nombreuses œuvres d'art ont été endommagées par l'eau d'extinction. Fort heureusement il n'y eut pas de victimes causées par cet incendie.

La reconstruction du bâtiment et la restauration des œuvres d'art (tableaux, bois peints) ont été réalisées dans des conditions remarquables.

Ayant pu nous déplacer rapidement sur les lieux et accéder aux chéneaux, nous avons retrouvé la fusée fautive, nous l'avons prélevée ainsi que des débris calcinés du chéneau. L'analyse de ces débris a montré la présence des constituants des artifices des fusées. La reconstitution des conditions de l'incendie par l'Université de Lausanne sur un modèle de toiture mesurant un mètre carré a permis de confirmer notre hypothèse sur le déroulement des faits.

Le bois n'est pas seulement un combustible en tant que matériau de construction, il participe au potentiel calorifique du contenu des immeubles, comme constituant de nombreux meubles.

4.2.3.3. Le papier

Le papier est un combustible fréquemment rencontré dans les incendies. Il est, comme le bois, constitué majoritairement de cellulose mais son comportement diffère selon la forme sous laquelle il se présente. Sous forme de feuilles séparées et froissées, il est à l'origine d'incendies volontaires ou accidentels.

Les cigarettes mal éteintes jetées dans les corbeilles à papier ou dans les poubelles étaient des causes fréquentes d'incendie. L'interdiction de fumer dans tous les lieux de travail et dans les établissements recevant du public fait disparaître progressivement ce risque d'incendie.

Le papier des livres dans une bibliothèque brûle mal en raison de l'insuffisance d'oxygène, alors que les papiers absorbants brûlent très facilement en raison de leur faible densité, conséquence de la présence d'air.

4.2.3.4. Les textiles

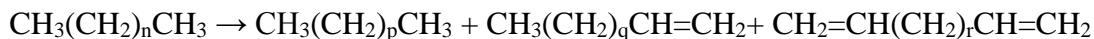
Dans les immeubles d'habitation, les chambres et les meubles de rangement contiennent couramment plusieurs centaines de kilos de textile (literie, vêtements, tapis, revêtements muraux). Généralement, les tissus naturels, le coton notamment s'enflamment plus rapidement (à une température plus basse) que les textiles synthétiques.

4.2.3.5. Les matières plastiques

Les matières plastiques occupent une proportion de plus en plus importante des objets qui nous entourent. Certaines d'entre elles contiennent des additifs retardateurs de flamme ou ignifugeants, mais la plupart sont des combustibles. Lorsqu'ils font partie d'appareils électriques, ils sont susceptibles de chauffer jusqu'à atteindre leur température d'auto inflammation généralement autour de 300° C ou 400° C. Le mécanisme de leur combustion est, en un peu plus compliqué, celui que nous avons décrit pour la combustion des solides : fusion, vaporisation et pyrolyse du liquide de fusion, pyrolyse et inflammation des gaz de pyrolyse.

La pyrolyse des matières plastiques entraîne leur dépolymérisation. Les chaînes des polymères sont rompues en fragments. La taille des fragments dépend de la nature du polymère et de la température.

L'analyse des résidus des matières plastiques fondues ou brûlées permet souvent de les identifier. A titre indicatif, la réaction simplifiée de la pyrolyse du polyéthylène, matière plastique très courante, est la suivante :



Il convient de remarquer que les hydrocarbures produits par la pyrolyse ne doivent pas être confondus avec les constituants d'un accélérateur.

4.2.3.6. Les liquides inflammables

Parmi les liquides inflammables, ceux qui sont issus du pétrole (carburants pour véhicules, solvants) interviennent dans de nombreux incendies graves en raison de l'importance des volumes utilisés dans tous les secteurs d'activité. Leur potentiel calorifique, leur volatilité, leur température d'inflammation augmentent les destructions et la rapidité des premières étapes de l'incendie. Leur disponibilité et leur facilité d'inflammation sont à l'origine de leur utilisation comme « accélérateur » pour commettre des incendies volontaires. Les alcools (boissons alcoolisées, produits d'entretien, solvants) peuvent contribuer à l'augmentation du potentiel calorifique ou être utilisés comme accélérateur lors de la mise à feu d'un incendie volontaire.

4.2.4. Identification des matières inflammables et recherche d'accélérateurs

Nous avons montré que l'identification des combustibles présents constituait une étape importante de la détermination des causes des incendies. Des bases de données permettent de connaître la chaleur de combustion de nombreux matériaux ou des objets les plus courants présents dans l'habitation ou dans les établissements industriels.

Pour des études spécifiques, les travaux de modélisation par exemple, le cône calorimètre est utilisé. Il permet de déterminer la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion, la perte de masse, l'opacité des fumées et par couplage avec les méthodes spectrophotométriques, l'analyse des gaz de pyrolyse.

De nombreux incendies volontaires sont commis sans la mise en œuvre d'accélérateurs. Cependant, les accélérateurs les plus fréquemment rencontrés sont des liquides inflammables et plus particulièrement l'essence, le gasoil, des solvants pour peinture. Le prélèvement d'échantillons de résidus sur lieux d'incendie est devenu l'une des opérations systématiques de l'enquête après incendie. Elle est justifiée lorsque les premières étapes du feu sont particulièrement violentes et rapides, lorsqu'il apparaît des traces de carbonisation sur le sol, lorsqu'il n'existe pas de source d'énergie dans la zone de départ de l'incendie. Les prélèvements ne sont pas justifiés si une cause accidentelle a pu être déterminée et s'il n'existe pas de zone privilégiée où prélever. Il convient de remarquer que le déversement d'un demi-litre de liquide inflammable sur un support poreux (plancher par exemple) laissera une trace de l'ordre de 1 m² après incendie. Rappelons que ce sont les vapeurs du liquide qui s'enflamment et qu'il est donc possible de retrouver des traces du liquide dans le support poreux. En absence d'indice permettant de privilégier une zone où effectuer des prélèvements, il conviendrait de quadriller l'espace incendié en carrés d'un ou de deux mètres carrés et d'effectuer un prélèvement dans chaque carré. Il est clair qu'un seul prélèvement dans un espace de 100 m² où il est supposé qu'un liquide inflammable a été déversé sans qu'apparaisse de zone privilégiée n'a qu'une chance sur cent

d'être significatif. Le prélèvement doit ensuite être placé dans un récipient clos hermétiquement et conservé, si possible à basse température.

Il est nécessaire d'effectuer en dehors de la zone incendiée, un prélèvement de matériaux comparables à ceux du support du prélèvement de la zone incendiée pour disposer d'un blanc. En effet la plupart des produits de traitement du bois ont pour solvant un mélange d'hydrocarbures qu'il convient de ne pas confondre avec un accélérateur.

Les méthodes associant la chromatographie en phase gazeuse à la spectrométrie de masse sont les méthodes privilégiées.

La chromatographie est évoquée dans d'autres parties de cet ouvrage. Ses seules applications à l'analyse de traces après incendie font l'objet d'ouvrages spécialisés. Nous nous limiterons ici à l'interprétation des résultats des analyses. Cette interprétation se fonde sur la comparaison des profils chromatographiques de l'échantillon inconnu avec ceux d'échantillons témoins. Certains laboratoires utilisent comme échantillon de comparaison des liquides ayant partiellement brûlé sur des supports partiellement carbonisés.

Il est relativement facile d'identifier 100 hydrocarbures dans un carburant. Des spécifications très précises sont imposées aux pétroliers : intervalles de distillation, tension de vapeur, point éclair, viscosité, indice d'octane ou de cétane, etc. Il en résulte que les compositions sont très voisines et qu'il n'est pas possible de différencier les fournisseurs des carburants purs sauf dans des cas très particuliers où la nature et la quantité des additifs peuvent être déterminées.

Au cours des incendies certains hydrocarbures disparaissent ou subissent des modifications de structures : cyclisations, ruptures de chaînes qui entraînent des modifications des profils chromatographiques.

Classiquement il est admis que la présence dans l'échantillon inconnu de dix constituants d'un carburant apporte la preuve de la présence de ce carburant. Si l'analyse n'a pas été effectuée aussitôt après le prélèvement certains hydrocarbures constituants des carburants peuvent avoir disparu par évaporation et sous l'effet de bactéries qui les « digèrent » spécifiquement.

Finalement, s'il est possible d'identifier la nature d'un liquide inflammable à partir de l'analyse de prélèvements il est actuellement impossible d'identifier son origine précise par chromatographie en phase gazeuse.

Le couplage chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse isotopique a été utilisée en géochimie pour étudier la genèse du pétrole. L'application de cette méthode à l'identification des accélérateurs après incendie semble prometteuse [7].

4.2.5. Le comburant

Le comburant le plus fréquemment présent est évidemment l'air. Dans des incendies particuliers, notamment dans l'industrie chimique, le comburant peut être un composé oxydant, un nitrate ou un chlorate par exemple.

Dans un milieu clos, le volume de l'enceinte où se produit l'incendie détermine la quantité d'air disponible et corrélativement, la quantité de matériaux inflammables qui peut brûler. Quand la quantité d'oxygène devient insuffisante, les flammes s'éteignent et le feu continue en émettant des fumées et du monoxyde de carbone. Il arrive que le feu s'éteigne de lui-même et que l'on retrouve simplement le plafond et les murs noircis jusqu'à une hauteur qui varie en fonction de la nature des combustibles et de la quantité d'air.

La chaleur dégagée par la combustion peut provoquer la rupture d'une vitre. Le confinement de l'enceinte disparaît et l'apport d'oxygène entraîne un embrasement brutal. Nous reviendrons plus loin sur ce phénomène (le « back draft ») qui peut être dû aussi à l'apport d'air par un événement provoqué tel que l'ouverture d'une porte.

4.2.6. La source d'énergie

Dans l'habitation lorsque sont rassemblées des matières inflammables et une quantité suffisante de comburant, les sources d'énergie possibles sont nombreuses :

- Appareils de chauffage, cheminées, foyers ouverts.
- Appareils de cuisson. Les utilisateurs d'appareils de cuisson ne sont pas toujours conscients du fait que quel que soit l'appareil de cuisson : traditionnel ou micro ondes, il importe d'adapter la puissance et la durée de la cuisson à la nature et à la quantité des aliments. La prise de feu dans les fours domestiques n'est pas rare.
- Installations en fonctionnement, en veille, ou restés branchés (TV, cafetières, aspirateurs, chargeurs de batteries, ...). Les conseils d'économie qui consistent à ne pas laisser inutilement les appareils en veille sont aussi des conseils de prudence.
- Télévisions et ordinateurs. Il conviendrait d'installer des détecteurs et des alarmes lorsqu'il est indispensable de laisser les appareils en fonctionnement sans surveillance. Il convient de remarquer que ces détecteurs peuvent sauver des vies, notamment pendant la période de sommeil des occupants en les avertissant de la naissance d'un incendie. Ils seront toutefois de peu d'utilité pour éviter des dégâts matériels s'ils ne sont pas reliés à un système d'extinction automatique approprié, à un centre de surveillance ou si le signal diffusé n'est pas de nature à avertir des personnes du voisinage capables de transmettre l'alerte ou d'intervenir.
- Imprudence de fumeur, bougies. Des cigarettes et des bougies ont été utilisées comme moyen d'allumage à retard dans des incendies volontaires.
- Installation électrique, fusibles, contacts desserrés, surcharge des conducteurs, appareils de chauffage, contact lampe, halogènes. Les incendies d'origine électrique font l'objet de nombreuses controverses du fait qu'il est souvent difficile de décider si les destructions des installations sont à l'origine de l'incendie ou si elles sont dues à la chaleur de l'incendie. Les incendies dus à des courts-circuits sont rares car si l'installation est correctement réalisée, les protections interrompent l'alimentation électrique. Les incendies d'origine électrique proviennent le plus souvent de l'échauffement de conducteurs ou de connexions dans un environnement de matériaux inflammables.
- Électricité statique.
- Foudre.
- Énergie mécanique (frottements). Par exemple des inflammations d'herbes traitées avec du chlorate de sodium au voisinage des voies ferrées ont provoqué des incendies au passage des trains quand ce dés-herbant était encore autorisé. Des incendies de véhicules en marche, dus au fait que le frein à main n'avait pas été desserré ont été signalés.
- Travaux par points chauds : flammes chalumeau, arc électrique (part de l'énergie qui ne peut être évacuée par conduction), tronçonneuse, meuleuses, étincelles. Les étincelles sont des particules de fer fondu ou en combustion.

La température des particules provenant d'une disqueuse est de l'ordre de 800 C, très nettement supérieure à la température d'inflammation des matières plastiques. Les températures des particules provenant du soudage à l'arc ou d'opérations de découpage à l'aide d'un chalumeau oxyacétylénique sont beaucoup plus élevées. La fréquence des incendies que ces opérations provoquent nous amène à les évoquer plus longuement.

4.2.6.1. Les travaux par points chauds. Sur les risques particuliers du soudage à l'arc

Le principe du soudage à l'arc consiste à faire fondre la pièce à souder tout en lui apportant du métal par une électrode sous l'effet de l'énergie d'un arc électrique.

Dans l'arc électrique, la température est comprise entre 3 000° C et 5 000° C. Elle permet d'obtenir la fusion de l'acier qui intervient vers 1 200° C.

Le surcroît d'énergie qui ne peut pas être entièrement dissipé par échange thermique avec la pièce à souder et l'environnement, se dégage sous forme d'énergie mécanique : arrachement de particules de métal et projections. Ces particules deviennent incandescentes en raison de leurs petites dimensions et de la très haute température qu'elles atteignent. Elles brûlent au contact de l'air.

Leur température peut alors atteindre plus de 2 500° C. (voir : « Les travaux par points chauds » extrait du Traité Pratique de sécurité Incendie. CNPP 9^{ème} édition [5]). Généralement, leur couleur passe du blanc au rouge au fur et à mesure qu'elles s'éloignent du point d'origine.

Il est fréquent qu'elles retombent à une distance de 3 à 10 mètres en restant incandescentes. Ceci se manifeste par leur couleur rouge qui indique qu'elles sont encore à une température de 800° C environ. A cette température un temps de contact de quelques secondes avec des matériaux tels que les polyesters dont la température d'inflammation est approximativement de 300° C peut suffire à provoquer leur mise à feu.

4.2.6.2. Les travaux par points chauds. Sur les risques particuliers du découpage oxy-acétylénique

Le principe de l'oxydécoupage est d'obtenir ponctuellement la fusion du métal à l'aide de la flamme d'un chalumeau oxyacétylénique puis, par un apport d'oxygène en excès, de provoquer la combustion du fer. La température des particules atteint 2 830° C. (voir : « Les travaux par points chauds » extrait du Traité Pratique de sécurité Incendie. CNPP 9^{ème} édition).

La quantité et les caractéristiques des particules émises dépendent des caractéristiques du générateur, mais aussi de la distance et de l'angle entre la pièce à souder et l'électrode, grandeurs qui ne peuvent pas être déterminées.

Dans son ouvrage « La Cause d'un Incendie Analysée en Criminalistique. Aspects physico-chimiques du feu ; leur influence dans l'investigation », Jean-Claude Martin [8] propose le calcul de la capacité calorifique d'une goutte de métal de 2,5 mm de diamètre produite par des travaux au chalumeau. Tout en notant que ce calcul ne peut être qu'imprécis, il obtient la valeur de 577,5 Joules dont il indique qu'elle est « *susceptible d'amorcer l'allumage d'un matériau combustible* ».

4.2.6.3. Les travaux par points chauds. Sur les risques des travaux d'étanchéité

Les travaux d'étanchéité constituent une cause d'incendie dont l'origine se situe en partie haute des bâtiments.

Citons un cas réel d'un incendie d'entrepôt à l'occasion de travaux effectués alors que l'établissement restait en exploitation.

Des travaux de pose d'une couche d'élastomère faisaient appel à un chalumeau au propane. S'il est possible d'effectuer ce travail sans enflammer l'élastomère, ce matériau est inflammable à partir de 400° C alors que la flamme du chalumeau est de l'ordre de 800° C à 1 000° C.

L'incendie n'est évité à l'occasion de la plupart des travaux d'étanchéité que parce que les ouvriers expérimentés et attentifs, ne laissent jamais le chalumeau immobile sur l'élastomère. En imprimant à la flamme un mouvement d'amplitude et de vitesse convenables, le matériau n'accumule pas l'énergie nécessaire à sa pyrolyse et à son inflammation. Si, accidentellement, les caractéristiques du mouvement n'obéissent pas à ces impératifs, un incendie survient.

Les travaux qui impliquaient un désamiantage, étaient effectués alors que l'entrepôt restait en exploitation. Une feuille de matière plastique (polyane) avait été tendue au-dessus des produits stockés pour éviter la chute de particules d'amiante. Les produits stockés étaient palettisés avec un film de polyéthylène. Le haut des palettes était distant de 20 cm environ du film protecteur des chutes d'amiante. Des gouttes de l'élastomère en cours de pose ont mis le feu au film protecteur puis au film des palettes. Les dégâts étaient plus importants en partie haute qu'au niveau du sol dans la zone des palettes.

Aucun permis de feu n'avait été établi.

Si un permis de feu avait été demandé, les échanges d'information auraient permis de sensibiliser les différentes entreprises au risque d'incendie. Les sociétés qui devaient utiliser des chalumeaux ou des disques susceptibles d'émettre des particules chaudes pouvaient et devaient refuser de travailler dans des conditions dangereuses pour les opérateurs, pour les personnels éventuellement présents dans l'entrepôt et pour les matériaux et matériels entreposés.

4.2.6.4. Les travaux par points chauds. Sur le respect de la réglementation applicable : le permis de feu

Les précautions à respecter à l'occasion de travaux par points chauds ont fait l'objet de nombreux textes, qui, s'ils ne sont plus en vigueur compte tenu des évolutions administratives, sont devenus des règles de l'art. Il en est ainsi de l'ordonnance du 16 février 1970 du Préfet de Police [9]. L'essentiel des dispositions de cette ordonnance est repris dans les manuels qui traitent de la sécurité incendie tels que le « Traité Pratique de Sécurité Incendie » du CNPP [5].

Ce même Traité Pratique évoque le « permis de feu », document qui ne résulte pas d'une obligation réglementaire, mais qui « permet de cadrer tous les travaux par point chaud ».

Le fascicule « Prévention des risques professionnels sur les chantiers » édité par la Chambre Syndicale Nationale de l'Étanchéité contient un paragraphe « Permis de feu » [10].

« En cas de travaux d'entretien ou de réparation sur bâtiments relevant des activités industrielles ou commerciales, il doit être établi une autorisation type « permis de feu ». N'utiliser le fondoir ou le chalumeau qu'après remise de ce document par le maître d'ouvrage ».

Dans les entrepôts et les établissements industriels, les travaux de transformation et de maintenance sont les plus fréquentes causes d'incendie.

Les travaux de maintenance sont souvent sous-traités par des entreprises qui interviennent dans des lieux mal connus et dans des conditions inhabituelles.

4.2.6.5. Incendies de véhicules

Les véhicules automobiles ont un potentiel calorifique important du fait de la quantité de matières plastiques (éléments de carrosserie, sièges, revêtements intérieurs) qui entrent dans leur construction et du carburant qu'ils transportent.

Les incendies volontaires de véhicules sont nombreux. A l'occasion de manifestations, ils sont souvent perpétrés par le bris d'une vitre suivi du jet d'un objet enflammé.

L'équipement électrique du compartiment moteur et de l'habitacle fait que les sources d'énergie possibles sont nombreuses et que les incendies accidentels sont relativement fréquents.

Comme dans le cas général des incendies, l'enquête aura pour premier but de déterminer le lieu d'origine de l'incendie : compartiment moteur (indice le plus souvent d'une cause accidentelle), habitacle (cause électrique ou incendie volontaire), extérieur du véhicule (incendie volontaire probable). Dans le cas d'un incendie dans l'habitacle, une recherche de liquide inflammable dans les matériaux poreux (moquette quand il en reste) permet de privilégier l'hypothèse d'un incendie volontaire.

Les équipements électroniques de plus en plus nombreux dans les véhicules modernes qui restent alimentés même à l'arrêt des véhicules, sont à l'origine d'incendies qui peuvent se produire plusieurs heures après l'arrêt du véhicule.

4.3. Sur la propagation de l'incendie

Nous avons vu comment naît un incendie. Il importe de comprendre comment se produit sa propagation.

4.3.1. Propagation continue

A partir du foyer initial, le feu peut se propager par différents mécanismes.

Conduction (transmission de chaleur à l'intérieur d'une substance ou entre matériaux en contact des points les plus chauds aux points les plus froids).

Convection (transmission de la chaleur dans un fluide. Les zones en contact avec la source de chaleur se dilatent deviennent moins denses et s'élèvent faisant place à des éléments plus froids).

Rayonnement (les surfaces chauffées émettent des radiations dont l'intensité dépend de la température et de la nature des surfaces ainsi que de la nature du milieu ambiant).

Ces modes de propagation obéissent à des fonctions continues.

La propagation se poursuit jusqu'à la consommation complète des produits inflammables, par la privation d'oxygène ou par la diminution de température. Ces deux derniers phénomènes sont ceux qu'exploitent les pompiers pour éteindre les feux.

Un procédé physique intervient parfois localement : l'inhibition des flammes. Il a été observé qu'il n'y a pas de propagation de flamme dans un tube fin. Les espèces activées (atomes ou radicaux) sont désactivées contre les parois. Ce phénomène est exploité avec la grille des lampes de mineurs. Les lampes antigrisou DAVY sont munies d'une grille de 100 mailles /cm². Le grisou est constitué majoritairement de méthane.

4.3.2. Propagation discontinue

Toutes les propagations ne suivent pas une fonction continue.

C'est le cas lorsqu'il y a projection ou chute de matériaux et de particules embrasées que nous avons évoquée au sujet du soudage à l'arc et des travaux d'étanchéité.

C'est également le cas dans des circonstances particulières telles que **les explosions de fumées (*back draft*) et l'embrasement éclair généralisé (*flash over*)**.

4.3.2.1. Back draft : déflagration de fumée

Il convient de remarquer qu'à « explosion de fumée » que nous utilisons pour traduire l'expression anglo-saxonne « *back draft* », il serait préférable de choisir l'expression « déflagration de fumée » : combustion qui se propage à vitesse subsonique dans un mélange combustible.

Les explosions de fumées sont bien connues et les équipes de pompiers en tiennent compte. Nous avons évoqué ce phénomène qui consiste en un passage instantané d'une combustion lente à une combustion vive par un apport d'oxygène : ouverture d'une porte ou bris d'une vitre par exemple.

4.3.2.2. Flash over : embrasement éclair généralisé

Le flash over est un phénomène beaucoup moins familier. On peut toutefois se demander s'il est une exception ou le cas le plus courant dans les feux dans des locaux. Compte tenu de sa rapidité, il est difficile à prévoir et à éviter. Il a été à l'origine de nombreuses victimes, notamment parmi les pompiers.

Ce phénomène est décrit en 1972 dans l'ouvrage « L'Incendie » [11]. Il y est écrit qu'il s'agit d'un « *terme intraduisible en français* ». Il a depuis été traduit par l'expression « *embrasement éclair généralisé* ».

Un exemple récent permet d'expliquer et d'illustrer ce phénomène :

A la suite d'un incident d'origine électrique un feu s'est déclaré dans une chambre du 7^{ème} étage d'un immeuble.

Un petit feu se propageait dans la literie et les vêtements accumulés par les occupants. La fenêtre était ouverte.

Les gaz chauds et les particules de fumée qui résultaient de la combustion ont monté et ont provoqué l'élévation de la température au niveau du plafond.

Il convient de remarquer que la fenêtre n'atteignant pas le niveau du plafond, il pouvait se former une couche de gaz chauds de 30 centimètres environ sous le plafond.

Après s'être absentée, l'occupante des lieux est revenue. Lorsqu'elle a ouvert la porte son visage a été noirci par la fumée. Elle n'a pas été brûlée. Ceci signifie que, malgré l'ouverture de la fenêtre, la porte étant fermée, la combustion n'était pas complète et qu'il existait une surpression dans la chambre. Lorsque la porte a été ouverte, une partie des gaz et de la fumée sont restés dans le volume limité par le haut de la fenêtre et le haut de la porte. Parmi les gaz émis par l'incendie, il existait des gaz combustibles dont la liste complète est impossible à établir, le monoxyde de carbone pouvant être majoritaire compte tenu de la combustion incomplète.

Cinq minutes plus tard un pompier indique qu'il voit des petites flammes. La combustion n'était plus limitée par la quantité d'oxygène disponible. L'énergie dégagée a donc augmenté et la température des gaz, du plafond et des murs s'est donc encore élevée. C'est à ce moment que s'est présenté un autre pompier devant l'entrée de la chambre.

L'apparition de la fumée « gris-jaune » (signe de la pyrolyse de matières halogénées) dans l'escalier est constatée. Ceci indique que des produits synthétiques brûlent.

Quatre minutes plus tard des flammes tournoyaient dans la chambre.

Ceci indique que le flashover est imminent c'est-à-dire que l'embrasement va se produire dans un délai de quelques secondes à quelques minutes. Il est préconisé dans la situation de pré-flashover de ne créer d'ouverture qu'en partie haute pour éviter une décompression au niveau du local incendié.

Tout à coup lorsque la température a atteint 600°C, l'embrasement éclair généralisé dans la chambre a provoqué la combustion de tous les gaz inflammables (auto inflammation de CO : 605°C, du benzène : 560°C, du méthane : 600°C), de la peinture des murs des couloirs, des gaines en matière synthétique des 7^{ème} et 8^{ème} étages, soit par la propagation continue de la flamme issue de la chambre dans le mélange de gaz inflammables, soit par un second embrasement généralisé dû à l'élévation de la température de l'ensemble du volume par le premier. Les embrasements éclair généralisés provoquent des effets en cascade dans les structures gigognes (la chambre est « emboîtée » dans le volume de l'étage).

Le débit (150 l/min) de la lance du dévidoir tournant dont disposait le pompier n'avait pas un débit qui aurait permis de refroidir suffisamment les murs et le plafond de la chambre pour éviter l'inflammation généralisée de tous les matériaux combustibles présents dans la chambre. Un débit de 500 l/min aurait été nécessaire. Ce pompier s'est trouvé sur le passage d'une onde de gaz enflammée. La température a atteint 1 000° C. Brûlé au visage par son masque, il a eu le réflexe d'enlever l'ensemble casque-masque avant de perdre connaissance sur place.

Au moment où se produisait l'embrasement éclair généralisé dans la chambre, des gaz chauds comportant des éléments combustibles et des fumées avaient déjà empli le volume des couloirs du 8^{ème} et du 7^{ème} étage. Il est probable que les gaines verticales du réseau câblé commençaient à brûler (existence de fumées gris-jaune).

Il s'en est suivi l'inflammation rapide de tout le volume formé par le 6^{ème} et le 7^{ème} étage, conduisant à une température supérieure à 450° C. A cette température, les équipements ne peuvent plus être efficaces pour protéger les intervenants des brûlures dues à l'accumulation de la chaleur dans les vêtements isolants ni des brûlures dues à l'évaporation brutale de l'eau qui peut imprégner les matériaux poreux.

L'impossibilité d'assurer l'étanchéité parfaite de certaines parties des appareils respiratoires aux gaz à haute température a provoqué l'apparition d'œdèmes pulmonaires dont l'issue a été fatale à plusieurs intervenants.

4.4. Modélisation. L'ingénierie de la sécurité incendie

Depuis 1970 des modèles ont été proposés pour représenter l'évolution des incendies.

L'objectif était de déterminer de manière scientifique les dispositifs de sécurité adaptés à la nature des bâtiments et à leur usage notamment lorsqu'il s'agissait de constructions nouvelles : grands espaces (atrium), immeubles de grande hauteur, pour lesquels l'expérience du comportement des structures et des occupants n'existait pas.

Il a été ainsi possible de fixer les caractéristiques des dispositifs de désenfumage (dimensions et débits) à partir de la détermination de l'épaisseur de couches de stratification de fumées dans le cas d'incendie.

Les modèles ont été perfectionnés, ils sont généralement fondés à la fois sur la géométrie des bâtiments, la détermination du potentiel calorifique, la dynamique des fluides, la chimie et la cinétique des phénomènes de pyrolyse, les caractéristiques de la ventilation, etc.

Le résultat des calculs est généralement présenté sous forme de représentation à 3 dimensions sur lesquels apparaissent les températures atteintes, les mouvements des fumées, la concentration des gaz toxiques.

La qualité des résultats obtenus dépend des approximations nécessaires pour modéliser les phénomènes et de la qualité des données physiques utilisées.

5. Conclusion

En France, un projet national associant tous les organismes, laboratoires et bureaux d'études concernés, a reçu pour mission de mettre au point une méthode permettant de passer d'une réglementation prescriptive à une réglementation par objectifs fondée sur une évaluation du risque et aboutissant à l'évaluation de mesures correctrices ou compensatoires déterminées en termes de rapport coût/efficacité. Les études en cours portent sur différents scénarios correspondant à des feux réels.

Compte tenu des données issues de cette démarche, plusieurs organismes d'enquête aux Etats-Unis puis en France, le Laboratoire Central de la Préfecture de Police utilisent la méthode, codes informatiques notamment, pour tester les hypothèses dans les cas difficiles à résoudre. Des résultats intéressants ont été obtenus notamment dans le cas d'un feu de cage d'escalier où il a été possible de confirmer que l'incendie avait pour cause la mise à feu de poussettes sans mise en œuvre d'accélérateurs.

Très prometteuses, ces méthodes seront appelées à être de plus en plus employées. Il faut souligner qu'elles imposent aux enquêteurs une attention particulière dans le recueil d'informations ainsi qu'une compétence et une expérience indispensables pour proposer des scénarios pertinents et interpréter les résultats.

Le risque est en effet que certains modèles statistiques permettent de standardiser certaines situations et de combler par des moyennes de valeurs enregistrées dans des bases de données, les lacunes des observations effectuées sur le terrain. Le résultat fourni par le modèle ne pourra être que la comparaison entre la situation de l'incendie à élucider avec le modèle le plus courant.

6. Bibliographie

1) NFPA 921: Guide For Fire and Explosion Investigation (current Ed 2014)

<http://www.nfpa.org/codes-and-standards/document-information-pages?mode=code&code=921>

2) Drysdale D. An Introduction to Fire Dynamics. (Wiley) third édition. 2011. Print ISBN 9780470319031 on line ISBN 9781119975465

<http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9781119975465>

3) Martin C. Incendies et explosions d'atmosphère. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Publisher of the EPFL Press. 2013 2^{ème} éd.

<http://www.ppur.org/produit/485/9782889150397>

4) Hammins A, Bundy M, Dillon SE. Characterization of candle Flames. Journal of Fire Protection Engineering. 2005 ; 15 (4) : 265-285.

<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire05/PDF/f05141.pdf>

5) fiches de l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). Les mélanges explosifs et les gaz.

<http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.inrs.fr%2Faccueil%2Fdms%2Finrs%2FCataloguePapier%2FED%2FTI-ED-911%2Fed911.pdf&ei=l3mtVMbIKNPqaL-MgbAK&usg=AFQjCNFBcWMsINh0o9y647zF3AKRCc6Qkg&bvm=bv.83134100,d.d2s>

6) Traité pratique de sécurité du CNPP. Incendie 13^{ème} édition (avril 2013). CNPP édition. ISBN-978-2-35505-107-4

<http://www.cnpp.com/fr/Boutique-Editions/Ouvrages/Collection-Traites-pratiques/Traite-pratique-de-securite-incendie>

7) Jasper JP, Edwards JS, Ford LC, Corry RA. Putting the arsonist at the scène : «DNA» for the fire investigator ? Gas chromatography /Isotope-ratio mass spectrometry. Fire and Arson Inv. 2002 ; 51(2):30-34. <http://www.naturesfingerprint.com/pdfs/invest.pdf>

8) Martin JC. La Cause d'un Incendie Analysée en Criminalistique. Aspects physico-chimiques du feu; leur influence dans l'investigation». Collection juridique romande ; Etudes et pratique. Payot Lausanne (1992).

<http://www.worldcat.org/title/cause-dun-incendie-analysee-en-criminalistique-aspects-physico-chimiques-du-feu-leur-influence-dans-linvestigation/oclc/37588779>

9) Ordonnance du Préfet de Police. n° 70-15134 du 16 février 1970 fixant des mesures de sécurité à observer lors des opérations de soudure ou de découpage par appareils thermiques. Risques d'incendie et d'explosion, 2.08. Autres activités ou installations, 2.8.4. Travaux par points chauds.

http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:tjCvUGn0h08J:cnpp.ysance.com/article.php3%3Fid_article%3D11687&client=safari&hl=fr&gl=fr&strip=1

10) Prévention des risques professionnels sur les chantiers. édition Chambre Syndicale Nationale de l'Etanchéité. Fiche Prévention - F1 F01 09 OPPBTP 2009. Page 4.

<http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.preventionbtp.fr%2Fcontent%2Fdownload%2F19912%2F224711%2Ffile%2F&ei=27-uVNe9DMnaaoul-gLgG&usg=AFQjCNFvFmAAE4OUIGxmRgv3mJlusEDGIQ&bvm=bv.83134100,d.d2s>

11) Amy L, Beltramelli C, Casso G. L'Incendie. Collection Les industries, leurs productions, leurs nuisances. Dunod, 1972. 581 p.

Chapitre 11. Expertise en matière d'explosions

H. Viellard

1. Introduction

Il importe de définir ce qu'on entend par explosion. Des définitions précises des différents types d'explosion sont exposées dans l'ouvrage de Louis Médard (Editions Technique et documentation [1]). Pour simplifier, nous utiliserons les définitions qui suivent.

Une *explosion* est un phénomène rapide de dégagement d'énergie accompagné de la création et de l'expansion d'un volume de gaz qui se traduit par une onde de pression.

Cette onde de pression entraîne l'émission d'un bruit et des destructions considérées comme les caractéristiques de l'explosion au sens courant des observateurs.

Cette définition englobe des types d'explosion aussi différents que :

- les « explosions pneumatiques », produites par la rupture d'un récipient, dans lesquelles la pression intérieure exercée par le fluide qu'il contient exerce des tensions qui dépassent la résistance des matériaux du récipient ;
- les « explosions électriques » provenant de l'éclatement d'un arc électrique entre deux points ou de la dispersion d'un fil électrique parcouru par un courant d'intensité élevée, phénomène physique impliquant une libération très rapide d'énergie ;
- les « explosions nucléaires » dues :
 - soit à la division d'un noyau atomique (phénomène de fission mis à profit dans la bombe A) ;
 - soit à l'agglomération de plusieurs noyaux (phénomène de fusion mis à profit dans la bombe H) ;
- les « explosions chimiques » qui ont pour origine des réactions chimiques subies par un corps ou un mélange de corps.

Aux explosions chimiques, les plus fréquemment rencontrées, correspondent par conséquent des composés définis ou des mélanges de corps capables de libérer dans une réaction chimique très rapide une grande quantité d'énergie. Cette libération d'énergie s'accompagne généralement du dégagement d'un important volume de gaz porté à température élevée et exerçant sur le milieu ambiant une pression brutale.

La plupart des réactions chimiques en cause sont des réactions de combustion (combustion interne lorsqu'il s'agit d'un composé défini) entre des groupements porteurs d'oxygène (ou l'oxygène de l'air dans le cas des gaz) et des éléments facilement oxydables comme le carbone et l'hydrogène, les réactions dans lesquelles intervient l'oxygène pouvant être très vives et fortement exothermiques.

L'origine de l'énergie calorifique libérée par les réactions explosives permet de classer les substances explosives en deux groupes :

- les substances explosives « endothermiques », c'est-à-dire celles dont les molécules sont formées à partir de leurs éléments avec absorption de chaleur. Dans ce cas le dégagement de chaleur est dû uniquement à la décomposition de la substance explosive en ses éléments ;
- les substances explosives « exothermiques », dont les molécules sont formées avec dégagement de chaleur. Dans ce cas l'origine de l'énergie fournie par l'explosion correspond à la destruction de l'édifice moléculaire qui s'accompagne de réactions, qui libèrent de la chaleur. Se rattachent tout naturellement à ce groupe, les mélanges explosifs, constitués d'un ou plusieurs comburants (nitrates, chlorates, perchlorates...) et d'un ou plusieurs combustibles (charbon, hydrocarbures, dérivés nitrés...), dont les constituants peuvent ou non posséder des propriétés explosives.

Remarquons que contrairement à une opinion très répandue, et probablement due au fait que l'imagination a de tout temps été frappée par les phénomènes sonores et lumineux, qui accompagnent la décomposition des substances explosives condensées (solides surtout) couramment utilisées, celles-ci ne sont pas, tant s'en faut, des réservoirs énormes d'énergie. Ainsi par exemple, du seul point de vue des quantités de chaleur disponibles, la combustion complète de 1 kg d'essence (soit 1,4 l environ) correspond à la décomposition explosive de 7,5 kg de nitroglycérine, 11,60 kg de tolite ou 17 kg de poudre à canon. Mais alors que la combustion complète de 1 kg d'essence réclame 16 kg d'air (soit 12,4 m³ environ dans les conditions normales), les décompositions explosives ont lieu sans apport d'oxygène et en un temps très court.

L'utilisation des substances explosives condensées ne présente en définitive un intérêt particulier que lorsqu'il est difficile d'emprunter à l'atmosphère extérieure l'oxygène réclamé par la combustion de la substance (cas notamment de la propulsion spatiale) ou nécessaire d'obtenir de grandes puissances instantanées pour obtenir des effets mécaniques intenses.

La pression des gaz provenant d'une explosion chimique peut être mise à profit en utilisant ses effets utiles (propulsion, travaux de mine, travaux publics...) mais peut également être responsable d'accidents très graves. Aussi dans son ouvrage sur « les explosifs occasionnels », Louis Médard est-il amené à distinguer d'un point de vue très pragmatique :

- les « explosifs intentionnels » fabriqués en vue de leur utilisation pour leurs caractéristiques explosives. Ils sont utilisés à des fins militaires, civiles (travaux de carrière ou de démolition), ou criminelles ;
- des « explosifs accidentels » qui se forment inopinément par mélange d'oxydants et de réducteurs ;
- ou des explosifs occasionnels, fabriqués malgré leur caractère explosif plus ou moins connu pour un usage n'impliquant pas d'explosion.

Remarquons que les explosifs intentionnels sont des corps ou des mélanges de corps essentiellement condensés (donc liquides ou surtout solides) alors que les explosifs accidentels sont gazeux. Les explosifs intentionnels sont utilisés notamment pour la fabrication d'Engins Explosifs Improvisés (EEI) mis en œuvre à des fins terroristes.

Le déclenchement d'une réaction explosive s'obtient par une excitation appropriée, qui porte le nom d'allumage ou d'amorçage et ne fait intervenir qu'une quantité d'énergie très faible vis-à-vis de l'énergie libérée par l'explosion elle-même. Lorsque, dans une phase explosive, la réaction chimique affecte simultanément la totalité de la masse en cause, on a affaire à une explosion homogène mais, dès que la masse explosive a une certaine importance, on peut douter que la réaction chimique déclenchée affecte simultanément la totalité de cette masse (qui peut être celle d'un corps ou d'un mélange homogène à tout instant et à une température uniforme).

Pratiquement, toutes les explosions que l'on rencontre et qui sont dites hétérogènes sont telles qu'amorcées en un point, la réaction chimique explosive se déroule dans une zone de très faible épaisseur (une fraction de millimètre) séparant le milieu qui n'a pas encore réagi (milieu dans l'état initial) de celui où se trouvent les produits de la réaction à haute température (milieu dans l'état final) et qui se propage de proche en proche sous la forme d'une onde.

Il existe deux types d'explosions hétérogènes caractérisés par des modes différents de déplacement de l'onde propageant la réaction chimique à l'intérieur du milieu explosif.

L'un « **la déflagration** », dans lequel l'explosion se transmet d'une particule de matière aux particules voisines grâce à la conductibilité thermique, à la convection et au rayonnement.

À l'intérieur de la zone de réaction, le volume spécifique, la pression, la température et la vitesse matérielle varient d'une manière continue de la région initiale à la région finale.

La célérité de l'onde de déflagration est moyenne ou faible (subsonique) et fonction croissante de la pression que les gaz exercent sur le système explosif initial.

Les produits de l'explosion ont une vitesse dirigée dans le sens opposé au déplacement de l'onde.

La pression sur le front de l'onde est moyenne, faible ou très faible.

L'autre « **la détonation** », dans lequel l'explosion se transmet par l'intermédiaire d'une onde de choc au travers de laquelle le volume spécifique, la pression, la température et la vitesse matérielle subissent une forte discontinuité.

La célérité de l'onde de détonation est très élevée (supersonique) constante et caractéristique de chaque système explosif.

Les produits de l'explosion sont lancés dans le sens de déplacement de l'onde.

La pression sur le front de l'onde est très élevée.

Aussi divise-t-on les « explosifs intentionnels » en :

- substances explosives déflagrantes dont la vitesse de décomposition est relativement faible et que, seules susceptibles d'emploi dans la propulsion des projectiles ou des roquettes, sont couramment appelées « poudres » parce qu'elles ont progressivement remplacé dans presque tous les usages d'agent propulsif la « poudre noire », qui, elle, se présentait sous une forme pulvérulente ;
- et substances explosives détonantes dont la vitesse de décomposition est extrêmement élevée et qui sont encore désignées sous le nom d'explosifs brisants, car leur décomposition s'accompagne d'effets mécaniques destructeurs. Ces explosifs se subdivisent eux-mêmes en :
 - explosifs primaires (ou explosifs d'amorçage) qui détonent presque toujours par choc ou lorsqu'ils sont allumés par une étincelle, une flamme ou tout autre source de chaleur de valeur convenable ;
 - et explosifs secondaires (ou explosifs de chargement) qui exigent en général pour détoner l'excitation d'un dispositif « le détonateur » renfermant comme élément essentiel un explosif primaire.

Faisons toutefois observer que, suivant les modalités de déclenchement de la réaction chimique explosive et les conditions dans lesquelles se trouvent les explosifs, la plupart peuvent déflagrer ou détoner et, il est par ailleurs possible qu'après avoir déflagré de plus en plus vivement un système subisse brutalement une explosion détonante.

2. Explosifs condensés et mélanges gazeux explosifs

2.1. Caractéristiques

Les phénomènes auxquels les explosifs donnent lieu obéissent aux mêmes lois, que ces explosifs soient condensés ou gazeux, mais certaines caractéristiques et les effets de ces classes d'explosifs sont quantitativement fort différents. Ces différences tiennent avant tout au fait que les masses par unité de volume des explosifs condensés sont comprises entre 0,8 et 1,6 kg/dm³ alors que celles des mélanges gazeux explosifs sous la pression atmosphérique, ce qui est, le plus souvent le cas dans les immeubles où ils provoquent des accidents, sont de l'ordre de 0,001 kg/dm³. L'énergie libérée dans l'unité de volume est par suite 1 000 fois moindre pour les mélanges gazeux explosifs que pour les explosifs condensés et la pression engendrée dans les mêmes conditions 2 000 à 3 000 fois plus faible pour les premières.

D'une manière générale les phénomènes sont d'une nature et d'un ordre de grandeur nettement différents pour les deux classes d'explosifs et les conditions et les effets de leur explosion présentent, comme nous allons le voir, des particularités très reconnaissables.

2.2. Les mélanges gazeux explosifs en milieu confiné

2.2.1. Limites d'explosivité

Faisons remarquer que les systèmes gazeux explosifs qui se rencontrent dans les habitations sont des mélanges accidentels avec l'atmosphère, de gaz ou de vapeurs combustibles. On peut toutefois se trouver dans de très rares cas en présence d'un gaz auto-explosif comme l'acétylène.

Lors de la déflagration de ces mélanges, le gaz porté à haute température dans la zone de très faible épaisseur, qui est le siège de la réaction explosive est lumineux et constitue la flamme, qui sépare le milieu qui vient de réagir (gaz brûlés) de celui qui n'a pas encore réagi et dont la progression est celle de l'entrée en réaction chimique les unes après les autres des couches de gaz non brûlé.

Observons par ailleurs que les gaz brûlés ainsi que le gaz n'ayant pas encore réagi sont en mouvement, le phénomène de déflagration d'un mélange gazeux explosif associant la réaction chimique de combustion, qui se propage selon une onde à des phénomènes d'écoulement des gaz, qui relèvent de la dynamique des fluides.

Insistons maintenant sur la particularité que les mélanges d'un gaz ou d'une vapeur combustible avec l'air (ou un autre gaz comburant), ne sont susceptibles d'être enflammés que s'ils renferment une quantité suffisante de gaz ou de vapeur combustible et une quantité suffisante d'oxygène.

Un mélange trop pauvre ou trop riche en gaz combustible peut être le siège d'une combustion localisée au voisinage d'une source de chaleur introduite dans le mélange, mais, même si cette combustion donne lieu à une flamme, celle-ci ne se propage pas de proche en proche dans toute la masse.

Il existe donc pour chaque gaz ou vapeur combustible un « intervalle d'explosivité » qui est identique à l'« intervalle d'inflammabilité » décrit au paragraphe 3.3.1. Les limites d'inflammabilité du chapitre Incendies.

Remarque.

La formation d'un mélange gazeux explosif implique la diffusion dans l'atmosphère des gaz ou des vapeurs combustibles émis par une source de ces produits gazeux. Certains de ceux-ci comme le méthane ou le gaz livré par Gaz De France (qui renferme de 85 à 95 % de méthane) sont plus légers que l'air alors que d'autres comme le propane ou le butane sont nettement plus lourds. Les gaz ou vapeurs se répandent, bien entendu, dans tout le volume dans lequel ils sont émis ou introduits, mais initialement la concentration des plus légers tendra à être plus élevée dans les parties hautes du volume et celle des autres dans les parties basses de celui-ci. La diffusion est un phénomène particulièrement lent mais l'accélération apportée par les courants de convection créés par la ventilation normale des locaux fait que plus ou moins rapidement il apparaît dans ce volume un mélange gazeux dont la composition est comprise entre les limites d'inflammabilité et qui peut propager de proche en proche une combustion.

2.2.2. La source d'allumage

Un mélange de gaz ou de vapeurs combustibles et d'air ayant une composition (et une température) satisfaisant aux critères d'inflammabilité peut demeurer indéfiniment stable tant qu'il ne se trouve pas en présence d'une source d'allumage : parois chaudes et points chauds, flammes, étincelles d'origine mécanique ou de nature électrique (que ces étincelles proviennent du courant électrique ou de l'électricité statique) de caractéristiques convenables.

L'énergie et la température minimales exigées de la source d'allumage pour que cette dernière mette le feu à un mélange gazeux dépendent des proportions de combustible et d'air, le mélange le plus inflammable étant le plus souvent le mélange stœchiométrique (c'est-à-dire celui dont la combustion est complète sans excès de combustible ou d'oxygène) ou un mélange de composition voisine de celui-ci.

Dans la pratique, quelle que soit la composition du mélange, les sources courantes d'énergie, même les plus faibles, possèdent en général une énergie supérieure à la valeur minimale requise, qui est inférieure au millijoule.

Il n'en est par contre pas de même de la température minimale souvent appelée « température d'auto-inflammation » qui dépend non seulement de la nature des gaz combustibles et des proportions relatives de ces gaz et d'air mais également du mode d'inflammation considéré, la température d'inflammation au contact d'une paroi chaude pouvant varier par exemple de plusieurs centaines de degrés avec la nature et l'état de cette surface.

Nous avons rassemblé dans le tableau ci-dessous, tirées surtout de travaux américains, les énergies minimales d'inflammation par étincelles à la pression et à la température ordinaires de mélanges stœchiométriques de quelques gaz et vapeurs combustibles ainsi que les températures d'auto-inflammation des mêmes mélanges (tableau 1).

Dans un mélange gazeux non agité contenu dans une enceinte close et amorcé en un point par une étincelle électrique par exemple, la flamme a, au début, la forme d'une sphère dont le rayon va croissant, mais peu à peu, pour des raisons tenant aux conditions de mise en mouvement du gaz non encore brûlé et qui est gêné par les parois, la flamme se déforme et se déplace en allant vers la région centrale de l'enceinte. Plus généralement, tout ce qui constitue un obstacle au mouvement du gaz non brûlé a pour effet de perturber notablement l'écoulement gazeux et de modifier la flamme ; si, par exemple, l'enceinte comprend deux compartiments communiquant par un orifice percé dans la cloison qui les sépare, la flamme amorcée dans un compartiment est comme attirée vers l'orifice et donne naissance à un dard allongé dans le compartiment voisin. Des obstacles placés en chicane, ou même de simples aspérités de la paroi, sont la cause de troubles hydrodynamiques, qui modifient considérablement le mouvement de la flamme.

Gaz ou vapeurs combustibles	Energies minimales d'inflammation par étincelles à pression et température ordinaires (mJ)	Températures d'autoinflammation (°C)
Méthane	0,47	537
Ethane	0,28	515
Propane	0,30	450
Butane	0,38	405
Hydrogène	0,02	400
Oxyde de carbone	0,26 (*)	605
Acétone	1,15	535
Benzène	0,55	560
Alcool éthylique	0,13 (*)	420

Tableau 1 énergie minimale d'inflammation et températures d'auto inflammation de quelques gaz et vapeurs combustibles ((*) Valeurs calculées)

Les phénomènes sont rendus encore plus complexes lorsque la source d'inflammation n'est pas ponctuelle. La flamme alors ne sera pas initialement sphérique et se trouvera soumise à l'effet accélérateur des courants de convection ascendants dans le gaz non brûlé.

Lorsque le gaz est le siège de turbulences de quelque origine que ce soit, la flamme aura une forme très tourmentée et pourra même être divisée en une pluralité de surfaces de flamme. L'aire totale du front de flamme se trouve alors considérablement augmentée et, la quantité de gaz brûlé par unité de temps étant par conséquent très grande, la propagation de la combustion devient très rapide.

Quand l'enceinte présente une ouverture à l'atmosphère ou cette ouverture dans l'enceinte apparaît au cours de la combustion, toute élévation de la pression à l'intérieur de l'enceinte provoque une expulsion de gaz par l'ouverture :

- soit du gaz non brûlé, si l'amorçage du mélange gazeux a lieu en un point éloigné de cette ouverture. Il y aura un mouvement général de ce gaz vers l'orifice et par suite un déplacement de la flamme dans la même direction ;
- soit des gaz brûlés si le mélange gazeux est amorcé au voisinage de l'ouverture.

D'une manière générale il y a mise en mouvement du gaz non brûlé en avant de la flamme et c'est à la vitesse du gaz mis en mouvement au cours de ce phénomène désigné sous le nom de « chasse préalable » que sont dus pour une part les dégâts causés par les déflagrations.

Nous voyons que toutes choses égales par ailleurs, les positions respectives de la source de gaz combustible et de la source d'inflammation, la géométrie de l'enceinte close ou semi close, où se produit une explosion ainsi que la disposition des matériaux que renferme cette enceinte, influent considérablement sur le développement de cette explosion et par suite sur ses effets intérieurs et extérieurs. On comprend par suite qu'il

soit souvent très difficile de remonter des seuls effets extérieurs d'une explosion à la description complète de l'évolution exacte de l'ensemble des phénomènes.

2.2.3. Les explosions de gaz de ville

Des considérations générales qui précèdent, sur les explosions des mélanges gazeux, nous retiendrons en définitive que la recherche des causes d'une explosion en phase gazeuse implique obligatoirement l'examen des possibilités d'apparition simultanée au même endroit : d'un mélange gazeux inflammable, c'est-à-dire dont la composition (gaz combustible et air) est comprise dans « les limites d'inflammabilité » et d'une source « d'inflammation » d'énergie et de température convenables.

Il y a lieu d'observer que si la source d'inflammation doit forcément se trouver dans le volume où a lieu l'explosion, la source de gaz combustible, qui entre dans la constitution du mélange gazeux explosif, peut, par contre, être extérieure à ce volume, lorsque ce dernier, ce qui est généralement le cas des habitations, n'est pas absolument étanche au gaz combustible considéré.

A l'origine de sinistres survenus en France et à l'étranger, des sources extérieures de gaz combustibles ont très fréquemment été rencontrées, qui correspondaient à des fuites apparues dans des réseaux souterrains de distribution de gaz de ville et avaient souvent provoqué des explosions dans des habitations non alimentées par ces réseaux.

Le nombre des explosions imputables à des fuites survenues sur des gazoducs souterrains a même pris une telle importance aux Etats-Unis que le National Bureau of Standards (N.B.S.), à la demande du Safety Board, a effectué des recherches approfondies sur le problème général de la migration dans le sous-sol des fuites de gaz naturel (qui, à l'heure actuelle, est le gaz distribué dans la plupart des pays) en établissant un programme d'essais portant sur une zone de quelques 6 000 m², pour déterminer le chemin parcouru par les gaz entre une fuite et les habitations détruites par une explosion ainsi que l'entrée de ces gaz dans celles-ci. Ces essais montrèrent notamment que :

- les gaz, provenant d'une fuite, ne suivaient pas une canalisation particulière (par exemple, celle où elle s'est produite) mais traversaient de préférence le sol et les remblais rocheux ;
- entre l'emplacement de fuite et les maisons où les explosions étaient survenues, il existait plusieurs voies de cheminement des gaz, et une habitation éloignée pouvait être atteinte alors que des maisons plus rapprochées étaient épargnées ;
- ces gaz pouvaient pénétrer à l'intérieur des maisons par les entrées des canalisations, les conduits d'aération, à travers des planchers poreux, des murs de soubassement et même des murs construits en blocs de béton enrobés de mortier et d'asphalte.

La recherche des sources de gaz combustibles intérieures ou extérieures au volume dans lequel s'est produite une explosion est le plus souvent associée essentiellement à l'odeur de ces gaz, mais quelques remarques à ce sujet sont nécessaires. En effet, produits gazeux, incolores et inodores lorsqu'ils sont purs, les hydrocarbures actuellement utilisés comme combustibles domestiques ou industriels ou le mélange distribué d'une manière générale par Gaz de France et dont, comme nous l'avons vu, le méthane est le constituant principal, seraient indécélables par l'odeur, s'ils ne renfermaient, ainsi que l'impose l'administration, une faible addition d'un produit fortement odoriférant. Le plus souvent il s'agit de quelques cent millièmes de tétrahydrothiophène SC₄H₈, liquide de masse volumique voisine de celle de l'eau et de température d'ébullition 119-120° C. La très faible quantité de produit ajouté suffit à rendre détectable dans une atmosphère des concentrations nettement inférieures à 1% du gaz venant directement d'une canalisation.

Cependant, lors de la circulation du mélange gazeux dans certains types de sol, le produit odoriférant peut se trouver adsorbé à un point tel que l'odeur du gaz issu d'une fuite souterraine a pratiquement disparu lorsque le gaz se dégage dans l'atmosphère.

A l'inverse, à l'air libre, le gaz de ville (à base de méthane) diffusant beaucoup plus rapidement que le produit odoriférant de masse moléculaire nettement plus élevée, l'odeur peut persister alors que la concentration en gaz combustible dans l'atmosphère est tombée à une valeur extrêmement faible.

Aussi, le Centre National de Prévention et de Protection (CNPP), dans les fiches [2] qu'il a établies pour les différents gaz précités (qui reçoivent tous une addition odoriférante) insiste-t-il sur le fait qu'il serait pour le moins imprudent, du point de vue de la sécurité, de se baser uniquement sur l'odeur de gaz pour en rechercher les fuites.

Du bref exposé précédent, nous retiendrons surtout :

- qu'une fuite apparue sur une conduite ou un appareil à l'air libre, s'accompagne toujours d'une odeur très nette ;
- qu'une fuite apparue sur une conduite souterraine, peut n'être décelable ni par son odeur (si le produit d'addition odoriférant est adsorbé par le sol) ni au moyen d'un explosimètre aérien (en raison de la vitesse de diffusion du gaz dans l'atmosphère et du fait que cette diffusion peut se produire loin de la verticale de la conduite fuyarde).

2.2.4. Évolution de la toxicité du gaz de ville

Alors que le gaz de ville actuellement livré par Gaz de France est du gaz naturel contenant essentiellement du méthane et des hydrocarbures légers, le gaz livré jusqu'en 1970 avait une composition et par suite des qualités sensiblement différentes. Obtenu en effet par insufflation d'air et injection de vapeur sur le charbon, le gaz fourni à l'usager et désigné bien qu'incolore sous le nom de « gaz bleu », parce qu'il brûle avec une belle flamme bleue, renfermait des pourcentages importants d'hydrogène et d'oxyde de carbone, qui lui conféraient des caractéristiques d'inflammabilité et surtout de toxicité très particulières.

C'est dans le domaine de la toxicité que les différences qui existent entre les propriétés du gaz bleu et celles du gaz naturel présentent le plus d'importance pratique. Le gaz bleu renferme en effet un constituant, l'oxyde de carbone, dont la toxicité est très nettement supérieure à celle des autres constituants de ce gaz et du gaz naturel, hydrogène ou hydrocarbures aliphatiques légers. Bien que le « gaz bleu » ait été abandonné depuis plus de 30 ans, certains usagers continuent à penser que le gaz délivré par Gaz de France est toxique. Des tentatives de suicide sont encore observées qui consistent à ouvrir les robinets des appareils alimentés au gaz ou à débrancher les tuyaux. Une explosion se produit qui peut engendrer des dégâts importants sans que le candidat au suicide ne soit intoxiqué.

Il existe toutefois, même pour les gaz non toxiques, une valeur limite de leur concentration dans l'atmosphère. L'introduction, en effet, de ces gaz dans cette dernière, entraîne un appauvrissement en oxygène. La concentration minimale d'air dans l'atmosphère pour assurer la respiration humaine est de 16%. Avec le gaz distribué par Gaz de France, ceci correspond à une concentration de 24%.

2.3. Les mélanges gazeux explosifs en milieu ouvert

La plupart des explosions de mélanges gazeux se produisent en milieu confiné. En effet, les accidents observés résultent de la formation d'une atmosphère de méthane et d'air dans des bâtiments ou dans des enceintes suffisamment étanches pour qu'une quantité de gaz combustible soit présente et pour que la combustion du mélange provoque une augmentation de pression sur les parois. A l'air libre, au voisinage de la source de gaz une source d'énergie peut provoquer l'apparition d'une flamme et nous sommes ramenés aux phénomènes exposés dans le chapitre « Incendies ». Cependant, dans des conditions particulières, un nuage de mélange inflammable peut se constituer et rester relativement stable jusqu'à l'apparition d'une source d'énergie.

C'est ainsi que la rupture d'une canalisation reliant un camion citerne à une cuve de propane a provoqué la constitution d'un nuage de propane et d'air dans une vallée alpine dans laquelle se situait un hôtel. Une source d'énergie provenant de l'hôtel a entraîné l'explosion du nuage. L'effet de souffle a provoqué le décès du chauffeur du camion et la destruction de l'hôtel. L'explosion de Los Alfaques qui causa 217 morts était due au même phénomène : déversement de 25 tonnes de propylène à la suite d'un accident routier.

2.4. Les explosions en mélanges diphasiques

2.4.1. Les explosions de poussières

La plupart des composés solides inflammables peuvent se trouver sous forme de poudres ou de poussières. C'est ainsi qu'ont été observées des explosions de poudre de charbon, de blé, de farine, de farine, de chocolat. L'hétérogénéité du mélange air poussière rend le mécanisme de l'explosion plus compliqué que celui des vapeurs inflammables homogènes. Certains auteurs ont avancé l'hypothèse de l'adsorption d'oxygène autour des grains de poussière avant l'explosion. Si de nombreux essais ont été effectués, il n'a pas été possible de caractériser les atmosphères de poussières explosibles avec des limites inférieures et supérieures d'explosivité. L'inflammabilité des mélanges dépend en effet fortement des dimensions des grains et de leur structure (leur forme et leur porosité). Il est donc difficile de prévoir les explosions. La prévention des effets consiste :

- à éviter toutes sources d'énergie y compris les sources d'électricité statique et la formation de micro-étincelles créées par les frottements ;
- à étudier l'architecture des réservoirs notamment en les équipant d'évents de forme et de dimensions appropriées.

2.4.2. Les explosions d'aérosols

Les caractéristiques hydrodynamiques des aérosols ont fait l'objet de nombreuses études, notamment en raison de leur importance en médecine du travail les gouttes d'aérosols pouvant avoir sur l'organisme un effet néfaste en raison de leur nature et en raison des substances et des microorganismes que les aérosols peuvent transporter.

Si l'explosion de nuages d'aérosols en vase clos est un phénomène fréquent puisqu'il se produit dans tous les moteurs à injection, il est plus rare en milieu ouvert. Ainsi que nous l'avons signalé, l'explosion peut survenir si le mélange air-aérosol combustible se trouve dans des conditions de température et de géométrie qui lui confèrent une stabilité suffisante, avant qu'une source d'énergie intervienne.

2.5. Les explosifs condensés

Contrairement à ce qui se passe pour les systèmes gazeux explosifs, la réaction explosive dans les explosifs condensés (explosifs essentiellement intentionnels) se propage sans emprunter d'oxygène à l'atmosphère extérieure.

De même à la différence des mélanges gazeux qui ne comportent qu'une seule phase, ne possèdent pas de surface libre et sont par suite en contact avec l'ensemble des parois du volume qui les contient et qu'ils soumettent à l'accroissement subit de pression, qui accompagne l'explosion, les explosifs condensés (solides le plus souvent) ont une structure beaucoup plus complexe. Ils se présentent sous la forme d'un système solide à une seule phase, comme les blocs compacts plus ou moins gros destinés aux propulseurs ou sous la forme d'un système solide à plusieurs phases comme les mélanges intimes de petits grains que sont la plupart des explosifs de mine et ne sont en contact par leur surface extérieure qu'avec l'atmosphère et leur support. Cette complexité de structure explique pourquoi les explosions des explosifs condensés sont bien moins simples que celles des mélanges gazeux explosifs.

Lors de la déflagration d'un explosif condensé, l'explosion se transmet de proche en proche d'une particule de matière aux particules voisines par conductibilité thermique et convection et les gaz brûlés provenant de l'explosion s'éloignent de la surface en réaction, qui, elle, se déplace vers l'extérieur de l'explosif, mais ce mouvement des gaz brûlés et leur écoulement est beaucoup plus compliqué lorsqu'on a affaire à de petits éléments que lorsqu'il s'agit de gros blocs. L'allure de la déflagration varie en définitive beaucoup avec la forme, la structure et la densité de la matière explosive.

Comme la célérité de la déflagration est une fonction croissante de la pression que les gaz exercent sur la matière en combustion, la déflagration n'évolue pas de la même manière suivant que l'explosion se produit à l'air libre ou en vase clos à une densité de chargement plus ou moins grande.

C'est seulement en effet, en vase clos où la pression ne peut aller qu'en croissant, que la célérité de la déflagration désignée par les balisticiens sous le nom de vitesse linéaire de combustion, va en augmentant. On comprend dès lors le rôle important que joue dans l'évolution de la déflagration la résistance des parois de l'enceinte où se trouve l'explosif. Cet effet de confinement qu'exercent les parois de l'enceinte sur la déflagration de l'explosif solide s'explique par le maintien sous pression en contact avec l'explosif des gaz venant de la partie de ce dernier, qui vient de réagir. Grâce à ce contact, il y a amélioration de l'échauffement par conductibilité thermique et convection de l'explosif qui n'a pas encore réagi, mais si les parois de l'enceinte cèdent, la densité des gaz chauds autour de la matière explosive diminue brutalement et la déflagration peut s'arrêter lorsqu'on a affaire à des substances, qui ne sont plus aptes à déflagrer qu'au-dessus d'une pression limite. Au-dessous de cette pression, toute déflagration est impossible.

2.5.1. De la déflagration à la détonation

Sous l'effet d'un choc, d'une flamme ou de la chaleur, les explosifs condensés à l'exception des explosifs primaires qui détonent lorsqu'ils ne sont pas en couches minces, se consomment par déflagration. Comme nous l'avons vu dans le cas des mélanges gazeux explosifs, dans certaines conditions, après avoir déflagré de plus en plus vivement les explosifs peuvent subir une décomposition détonante. Il ne s'agit pas d'un phénomène progressif au cours duquel la célérité de la déflagration croît jusqu'à atteindre la célérité de la détonation. On observe toujours lors du passage déflagration/détonation une discontinuité brutale de pression.

2.5.2. Effets des explosions d'explosifs condensés

Compte tenu de ce que nous avons dit plus haut en ce qui concerne les déflagrations des explosifs condensés, leurs effets mécaniques à distance sont très variables.

- A l'air libre, la vitesse de combustion de ces explosifs étant généralement très faible, les effets d'une déflagration sont le plus souvent négligeables.
- En vase clos, la vitesse de combustion des mêmes substances augmente en même temps que la pression qui règne dans ce vase mais la déflagration ne peut avoir des effets à l'extérieur que si le récipient dans lequel elle se déroule se rompt à un certain moment. A l'instant de cette rupture une onde de choc est lancée dans l'atmosphère mais son intensité et par suite ses effets sont beaucoup plus faibles que ceux des ondes de choc provenant d'une détonation. On peut seulement craindre le dégagement de gaz chauds susceptibles de brûler sévèrement les voies respiratoires des personnes atteintes.

Avec les explosifs condensés qui détonent, ces phénomènes sont d'une nature et d'un ordre de grandeur très différents. Au contact et au voisinage de ces explosifs détonants les matériaux solides, soumis à des pressions extrêmement élevées (qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de tonnes par cm^2), sont rompus et leurs fragments lancés à très grande vitesse. Si la charge explosive repose sur le sol ou en est très voisine, une onde sismique est transmise à distance et le sol est retrouvé creusé localement.

Lorsqu'on considère l'effondrement du sol à l'endroit même et autour du lieu de l'explosion, on admet que le rayon R du cratère dont on peut craindre la formation est lié au poids C de la charge qui détone par une relation de la forme

$$R = k_1 C^{1/3}$$

R étant exprimé en mètres et C en kg et le coefficient k_1 variant avec la nature du sol de 0,2 pour un sol très dur à 0,7 pour un sol sablonneux.

Les gaz chauds et sous pression issus de l'explosion et capables d'enflammer les matières combustibles qu'ils rencontrent lancent dans l'atmosphère ambiante une onde de choc responsable des phénomènes dynamiques qui causent des dégâts aux structures, blessent plus ou moins gravement les êtres vivants et entraînent la détonation d'autres charges explosives voisines.

On donne le nom d'effet de souffle aux phénomènes dynamiques précédents et la sécurité vis-à-vis de ceux-ci pose essentiellement le problème d'établir des formules reliant la charge d'explosif qui détone à la distance au-delà de laquelle on n'observe plus certains types de dégâts aux immeubles et certains effets sur les êtres vivants.

En un point M situé à une distance donnée du centre d'explosion et atteint à l'instant t_0 par l'onde de souffle, cette dernière est caractérisée par :

- une pression de crête ($P-p_a$), P étant la pression absolue sur le front de l'onde et p_a la pression atmosphérique ;
- la durée τ_p de la phase où la pression est supérieure à la pression atmosphérique ;
- la valeur minimale (p_a-p_m) de la dépression, p_m étant la pression minimale absolue inférieure à la pression atmosphérique ;
- la durée τ_n de la phase où la pression est inférieure à la pression atmosphérique ;
- et l'impulsion I produite par unité de surface normale à l'onde au cours de la phase où la pression est supérieure à la pression atmosphérique.

$$I = \int_{t_0}^{t_0 + \tau_p} p dt$$

Les effets de l'onde de souffle et le type de dégâts correspondants dépendent essentiellement de la pression de crête ($P-p_a$) et de l'impulsion I proportionnelle à l'aire du triangle AMB (figure 1).

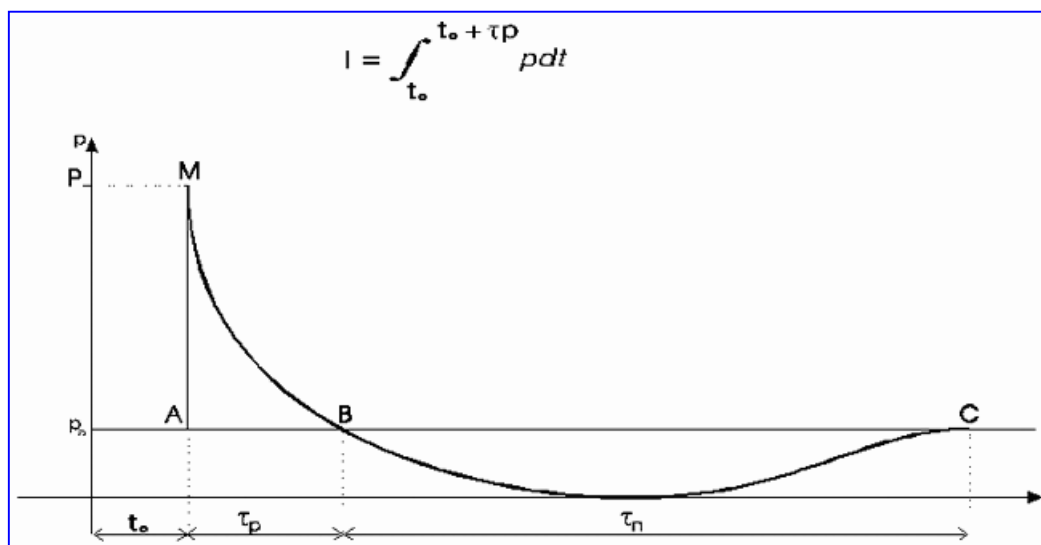


Figure 1 Effet de souffle : relation entre la pression et l'impulsion

Des considérations de similitude conduisent à des relations de la forme :

$D = kC^{1/3}$ entre la distance D au centre d'explosion et la charge explosive C qui détone pour un type de dégâts donnés mais le raisonnement sur lequel sont basées les relations de similitude envisage une charge isolée dans l'espace alors que les réactions du sol sur lequel repose la charge interviennent certainement sur l'exposant de la masse de la charge explosive.

Après de nombreux essais, on a adopté en France une relation de la forme $D = k C^{1/2}$ qui définit les degrés de gravité des dégâts :

- les dégâts forts qui rendent inhabitables ou inutilisables sans grosse réparation une construction ou une installation ;

- les dégâts moyens : dégradations de plafonds, de planchers,... ;
- les dégâts légers : bris de vitres, soulèvement de tuiles, ébranlement de cloisons... qui peuvent être rapidement réparés sans frais considérables,

et établi des règles empiriques délimitant grossièrement les distances D autour de la charge de poids C correspondant aux différentes zones de dégâts :

$D_f < 5\sqrt{C}$ pour la zone de dégâts forts ;

$5\sqrt{C} < D_m < 10\sqrt{C}$ pour la zone de dégâts moyens ;

$10\sqrt{C} < D_L < 15\sqrt{C}$ pour la zone de dégâts légers ;

formules dans lesquelles D est exprimé en mètres et C en kilogrammes.

Ces formules dont les coefficients numériques sont divisés par deux lorsque la charge est isolée par des écrans convenables, ne sauraient être appliquées ou interprétées d'une manière très stricte, car elles ne tiennent pas compte de nombreux facteurs (force et direction du vent, configuration du terrain et de la végétation, structures canalisant le souffle ou provoquant sa réflexion...) qui peuvent dans certains cas jouer un rôle très important. Les expressions en racine carrée ne semblent d'ailleurs relativement valables que pour les charges inférieures à 500 kg alors que pour les charges plus fortes les formules en racine cubique paraissent préférables.

Des expériences réalisées tant en France qu'à l'étranger sur des moineaux, des pigeons, des cobayes, des chiens et des moutons ont montré que les distances minimales de survie pouvaient s'exprimer par une des formules suivantes :

$R_s = k_o C$ pour des charges ne dépassant pas 100 kg;

ou $R_s = k'_o C^{1/3}$ pour des charges supérieures ;

R_s étant le rayon du cercle à l'intérieur duquel les animaux meurent soit immédiatement, soit dans les minutes qui suivent la détonation et C la charge explosive ;

R_s étant exprimé en mètres et C en kilogrammes, k_o a pour valeur 0,5 pour les moineaux, 1 pour les autres animaux et pour les hommes et $k'_o = 1,6$.

Au delà de la distance de stricte survie entre R_s et $2R_s$, les animaux subissent des dommages allant d'atteintes légères à des lésions graves.

Bien entendu ces formules ne sont valables qu'en l'absence de projections solides et quand aucun obstacle n'est interposé entre le sujet et la charge explosive.

L'importance des masses critiques à réaliser rend peu probable la transformation en détonation de la déflagration d'un explosif condensé. Aussi la détonation d'un tel explosif est-elle toujours intentionnelle.

Les effets de la détonation sont d'une nature et d'un ordre de grandeur nettement différents de ceux des mélanges gazeux explosifs. C'est au contact des explosifs condensés détonants eux-mêmes et dans leur voisinage que les matériaux soumis à des pressions extrêmement élevées (parfois plusieurs dizaines de tonnes par cm^2) sont rompus et lancés à de très grandes vitesses.

3. L'enquête après explosion

La production, l'importation, l'exportation, le commerce, l'emploi, le transport et la conservation des poudres et des substances explosives sont subordonnés à un agrément technique et aux autorisations et contrôles des services de l'état. Ces exigences de sécurité publique et de défense nationale sont traduites dans la loi N° 70-575 du 3 juillet 1970 portant réforme du régime des poudres et substances explosives.

Il résulte de ces réglementations que toutes les explosions, quelles que soient leurs natures font l'objet de mesures destinées à protéger les personnes et les biens lorsqu'elles ont été programmées.

Si elles n'ont pas été programmées, les explosions provoquent une enquête destinée à en déterminer les conséquences (victimes, dégâts), et à remonter aux causes.

Sans retenir l'hypothèse des « explosions nucléaires » que nous n'examinerons pas ici en raison de leurs caractéristiques et de leur contexte essentiellement militaire, les exposés ci-dessus nous amènent à rechercher les indices permettant de caractériser :

- les « explosions pneumatiques » produites par la rupture d'un récipient, dans lesquelles la pression intérieure exercée par le fluide qu'il contient exerce des tensions qui dépassent la résistance des matériaux du récipient ;
- les « explosions électriques » provenant de l'éclatement d'un arc électrique entre deux points ou de la dispersion d'un fil électrique parcouru par un courant d'intensité élevée, phénomène physique impliquant une libération très rapide d'énergie ;
- les « explosions chimiques » et parmi celles-ci, les explosions d'explosifs condensés et les explosions de mélanges gazeux explosifs.

Les réactions explosives de tous les produits en cause dégagent des gaz à température élevée capables d'enflammer ou de brûler plus ou moins profondément les matières combustibles qu'ils rencontrent. Ces réactions laissent donc au moins des traces de brûlures superficielles.

Les explosions d'explosifs condensés sont généralement causées par des actes volontaires alors que les explosions des autres types sont le plus souvent accidentelles.

3.1. Explosions dues à la mise en œuvre d'explosifs

En milieu urbain, en dehors des déflagrations dues à des explosions d'atmosphère évoquées ci-dessus, les cas les plus fréquents d'explosions sont des détonations provoquées par une substance explosive condensée.

Les substances explosives condensées réclament pour réagir des dispositifs particuliers d'excitation n'existant normalement pas dans les appartements. Il ne s'agit donc pas en général d'une explosion accidentelle.

La poudre noire de chasse a toutefois été à l'origine de plusieurs explosions accidentelles, certains chasseurs ayant la mauvaise habitude pour éviter la prise d'humidité de cette poudre hygroscopique de placer les récipients et même les cartouches qui en contiennent, près de sources de chaleur : poêles, cheminées...

La célérité de la déflagration de ces explosifs reste faible même sous des pressions relativement élevées. Les effets de cette déflagration ne se font sentir que lors de la rupture du récipient qui contient l'explosif et le dégagement de gaz chauds libérés.

L'enquête à la suite d'une explosion attribuable à la mise en œuvre d'explosifs implique une description des dommages, la recherche de tous éléments susceptibles de provenir :

- du dispositif de mise à feu : source d'énergie, conducteurs électriques, dispositifs à retard, système d'allumage ;
- de l'emballage de la charge ;
- de la charge : traces d'explosifs dans le cratère s'il existe, sur les objets voisins, sur les vêtements des victimes.

L'analyse des traces permet d'identifier la nature de l'explosif utilisé et d'orienter la recherche des auteurs en validant d'éventuelles revendications et en établissant des comparaisons.

3.1.1. Identification de la nature de la charge

Il s'avère que les auteurs d'attentats utilisent des explosifs militaires, civils ou de fabrication artisanale.

La production des explosifs à usage civil est de plusieurs millions de tonnes, la plus grande utilisation étant celle des mines (près de 70%), suivie des travaux de carrières et de démolition. L'utilisation de dynamites

a longtemps été prépondérante. Cette utilisation a considérablement diminué et a été remplacée par celle des compositions de type ANFO (Ammonium Nitrate Fuel Oil) moins coûteux et plus souple d'emploi.

La production des explosifs militaires est certainement du même ordre de grandeur. Pendant la Seconde Guerre mondiale, des centaines de millions de tonnes de TNT (Trinitrotoluène) ont été fabriquées. A l'occasion de chaque conflit une importante quantité de munitions restent non explosées en raison des dépôts non détruits et des ratés de fonctionnement qui sont estimés à 15% des munitions tirées environ.

Il résulte de cette situation que les terroristes peuvent facilement disposer d'explosifs industriels soit par des vols dans des dépôts, des achats par des circuits illicites ou des échanges. Il a ainsi été montré qu'il existait des connexions entre certains mouvements terroristes et le milieu du grand banditisme et du commerce de la drogue.

Tous les types d'explosifs ont été utilisés. Au cours des trente dernières années ont successivement et majoritairement été utilisés : les dynamites et les plastiques (C4, SEMTEX) puis plus récemment, les composés peroxydés. Il convient de noter que le Tri Acétone Tri Peroxyde a été inventé en 1895 mais qu'il n'a pas été industrialisé en raison de son instabilité. Ces composés peroxydés sont particulièrement employés par les commandos suicides.

La fabrication artisanale des explosifs est abondamment décrite sur Internet. L'un des premiers ouvrages commercialisés concernant ce sujet est « The Anarchist Cookbook » [3] suivi par de nombreux autres, certains étant diffusés par le « Department of Defense » des Etats-Unis.

La fabrication artisanale de certains explosifs présente des risques qui ne peuvent pas toujours être maîtrisés en dehors d'installations spécialisées. Les enquêtes après les explosions qui se produisent à l'occasion de ces fabrications peuvent apporter des informations intéressantes sur des explosions antérieures. Nous soulignons à l'occasion de cette remarque l'importance de la constitution de bases de données aussi complètes que possibles sur les Engins Explosifs Improvisés.

Les méthodes analytiques employées pour l'identification des explosifs fait appel à toutes les méthodes de la chimie analytique dans lesquelles les techniques chromatographiques et la spectrométrie de masse ont une place privilégiée. Il devient possible d'identifier des quantités d'explosif de l'ordre du picogramme.

3.1.2. Effet des explosions sur les structures

L'examen des projections et des destructions des bâtiments concernés donne des indications sur le type d'explosion.

Les explosifs causent généralement des dégâts localisables : percement de dalles ou de murs, projection des objets situés au voisinage du point de détonation, effondrement de structure par destruction d'éléments porteurs, poutres ou piliers par exemple. A l'endroit où une charge explosive a été mise en œuvre, un cratère apparaît : cavité approximativement conique dont la profondeur et le diamètre permettent de fournir une indication sur la masse de la charge mise en œuvre.

Lorsque la charge est contenue dans une enveloppe métallique, celle-ci se fragmente en éclats vulnérants.

A l'occasion d'attentats par explosifs, lorsque la charge est très importante, les dégâts aux éléments porteurs peuvent entraîner l'effondrement total des structures et il est parfois difficile de déterminer lors des premières constatations, le type de l'explosion qui s'est produite. Le contexte et un examen plus complet permettent ensuite d'en préciser le type.

A titre d'exemple, nous citerons les attentats commis en 1983 à Beyrouth à l'aide de camions d'explosifs qui ont détruit le Drakkar, bâtiment occupé par les troupes françaises et l'attentat commis la même année contre l'ambassade américaine.

Depuis plus de quarante ans, nous n'avons pas connu en France d'attentats par mise en œuvre d'explosifs condensés qui ont entraîné la destruction d'immeuble.

Les explosions qui ont entraîné la destruction des structures étaient des explosions d'atmosphère accidentelles.

Lorsqu'une explosion pneumatique intervient dans un local situé dans la partie la plus basse d'un immeuble, la surpression produite par ces explosions provoque des dégâts importants sur les parois latérales et sur les plafonds des locaux. Les forces exercées sur le sol étant réparties sur toute la surface, sont généralement insuffisantes pour provoquer un affouillement.

Les murs peuvent être renversés et les plafonds soulevés, désolidarisés de leurs supports et détruits.

Les parois verticales ne sont pas calculées pour résister à des forces horizontales considérables dues à la surpression. Lors de l'explosion, elles sont poussées vers l'extérieur, ce qui prive les dalles horizontales d'une partie de leurs appuis.

Les dalles qui constituent planchers-plafonds situés au-dessus de l'origine de la surpression, sont soulevées après s'être bombées et cèdent en retombant sur leurs appuis eux-mêmes détruits ou affaiblis. Soulignons que les dalles sont calculées et construites pour résister à des charges verticales descendantes, le ferrailage étant généralement plus dense dans la partie inférieure de la dalle. Elles résistent mal à des forces ascendantes qui exercent des tensions sur le béton.

L'onde de pression peut se propager par les vides créés dans les parois et les plafonds disloqués, dans toutes les directions en poursuivant les destructions.

Lorsque la surpression cesse, les dalles retombent et provoquent des destructions par gravité sur toute la surface qu'elles occupaient. L'alternance des forces ascendantes et descendantes sur des dalles provoque la fragmentation du béton qui laisse localement le fer à nu.

3.2. Explosions de gaz et de vapeurs inflammables

3.2.1. Les explosions de gaz de ville

Les mélanges gazeux explosifs résultant du mélange d'un gaz combustible et d'air dans un intervalle de pourcentages fixés, (intervalle variable avec le gaz considéré) trouvent aisément dans les équipements usuels des appartements des agents d'excitation auxquels ils sont sensibles, par exemple les étincelles provenant des interrupteurs, des réfrigérateurs...

Les gaz occupant naturellement tout le volume qui leur est offert, les effets de l'explosion d'un mélange gazeux s'exercent sur les parois de ce volume qui sont soumises à des pressions de l'ordre de 5 kg/cm^2 .

Les explosions de gaz les plus fréquentes sont dues à des fuites sur le réseau de distribution du gaz naturel. Ces fuites proviennent de canalisations intérieures (erreurs de branchement) ou extérieures (rupture de canalisations : mouvements du terrain, désorganisation du sol à la suite du régime hydrologique).

Les fuites extérieures peuvent également être dues à des travaux : arrachement de canalisations. Elles peuvent avoir une cause accidentelle imprévisible. Rue St Ferdinand un court-circuit a causé la destruction d'une nappe de câbles sous chaussée sur une longueur de 8 mètres. La chaleur dégagée et l'arc produit a provoqué la perforation d'une canalisation de tôle bituminée située à plus d'un mètre, créant un trou de 10 cm de diamètre. Le gaz a pénétré dans les caves de l'immeuble le plus proche. L'explosion qui s'en est suivie a provoqué la destruction presque totale de l'immeuble.

Lors de fuites de gaz sous chaussée, le gaz pénètre souvent dans les sous-sols immeubles voisins. Il suffit d'une très faible énergie pour provoquer la mise à feu du mélange explosible. L'étincelle produite par la manœuvre d'un interrupteur suffit. Il en résulte des dégâts importants du fait de la destruction des supports : murs et planchers des parties basses des immeubles.

La pression exercée sur toutes les parois des locaux entraîne souvent des déformations des murs et des plafonds qui prennent une forme « bombée » caractéristique des explosions d'atmosphère. Les prises de feu sont fréquentes.

Lors de l'enquête suite à une explosion due à une rupture de canalisation sous chaussée, il peut être utile de mesurer le débit de fuite avant toute modification des lieux.

Ensuite, il importe de dégager la canalisation par enlèvement de couches de terrain successives pour identifier toutes les singularités du sol : matériaux hétérogènes, points durs, sous cavage éventuel sous la canalisation.

3.2.2. Explosions pneumatiques

Des explosions aux effets catastrophiques peuvent résulter d'une brutale augmentation de pression d'une enceinte qui contient un fluide sans qu'il y ait d'inflammation d'un mélange inflammable.

L'origine de l'explosion peut être un phénomène physique tel qu'un changement de phase, par exemple, la vaporisation d'un liquide sous pression sous l'effet d'une augmentation de la température. Ce type d'explosion est appelé explosion pneumatique.

Les explosions pneumatiques produisent des effets comparables à ceux des explosions de gaz et de vapeurs inflammables. Elles s'en distinguent par le fait qu'il ne se produit pas de prise de feu et surtout par l'identification des vestiges du récipient.

Les cas les plus fréquents sont les conséquences d'une élévation de température de ballons d'eau chaude, explosions de chauffe-eau, explosions de chaudières d'immeubles par exemple.

La connaissance des dimensions du récipient, de l'épaisseur de ses parois, de la résistance à la traction des parois, de la puissance de la source d'énergie, de la durée de chauffage, permet théoriquement de calculer la température et la pression d'éclatement. Malheureusement, il est souvent impossible de connaître le taux de remplissage du récipient qui dépend notamment des dispositifs de purge ou de maintien de pression présents sur l'installation. Par ailleurs, si théoriquement, l'éclatement d'un cylindre soumis à une pression intérieure s'effectue par étirement suivant une génératrice, des phénomènes de flambement peuvent se produire au niveau des fonds selon les dimensions du ballon et son épaisseur, qui entraînent une rupture au voisinage de la jonction entre les fonds et la virole. Il en résulte des ruptures à la fois au niveau des fonds et au niveau de la virole. Ces ruptures se produisent à des pressions inférieures à celles qui conduiraient à l'ouverture de la virole selon une génératrice.

Un affaiblissement de l'épaisseur due à la corrosion et des soudures défectueuses peuvent également entraîner un abaissement de la pression d'éclatement.

L'élévation de température entraîne une augmentation de pression. La pression dépasse les limites de résistance des matériaux dont le ballon est constitué. Ceci n'est possible que lorsque les installations ne comportent pas les dispositifs de limitation de température et de pression qu'imposent les règles de l'art et la réglementation.

Le ballon éclate et l'eau qu'il contient se vaporise instantanément dans le local où est installée la chaufferie. La surpression provoque la destruction des planchers et des dégâts souvent catastrophiques.

Il arrive, notamment dans le cas de chaudières ou de chauffe-eau installés verticalement, que l'augmentation de pression entraîne une rupture au niveau du raccordement du fond et de la virole. La vaporisation de l'eau provoque un effet de réaction qui propulse la virole comme une fusée.

3.2.3. Le BLEVE

BLEVE : « Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion » (explosion d'expansion de vapeur de liquide bouillant).

Ce phénomène est dû à la vaporisation instantanée d'un liquide sous pression ou surchauffé. Il se produit le plus souvent avec des hydrocarbures liquéfiés. Dans ce cas, la vaporisation brutale du gaz combustible est suivie de la formation d'un mélange explosible dont la mise à feu provoque une augmentation considérable

de l'énergie. Cette situation se rencontre notamment lorsque des réservoirs d'hydrocarbures liquéfiés sont soumis aux flammes d'un incendie.

4. Conclusion et évolutions

Ainsi que le fait remarquer H. Bircher [4], les utilisateurs d'explosifs sont conservateurs. Ils continuent à utiliser les «vieux explosifs». La poudre noire, le TNT, la dynamite continuent à être utilisés aussi bien pour les opérations licites que pour les attentats. De nouveaux explosifs sont développés principalement dans le domaine des propulseurs et notamment pour les propulseurs solides des fusées.

Comme pour les incendies, des modèles sont développés pour prévoir ou interpréter les effets des explosions. L'INERIS, le CEA, le CNPP ont notamment étudié le mécanisme et les effets des explosions en milieu confiné ou semi confiné. Ces travaux sont particulièrement intéressants mais il est difficile de confronter les résultats des simulations à des expérimentations. Comme pour les incendies, ces travaux sont utiles pour adopter des dispositions constructives efficaces pour la prévention des explosions. La complexité et la rapidité des phénomènes qui conduisent à l'explosion, leurs discontinuités, la violence destructrice des effets rendent l'observation difficile ou impossible.

5. Bibliographie

- 1) Médard L. Les explosifs occasionnels. Propriétés Monographies. Editions Technique et documentation. Lavoisier. 1999. 2^{ème} éd. ISBN 13 /9782743003715
- 2) Fiches émises par le Centre National de Prévention et de Protection CNPP :
<http://www.cnpp.com/fr/Boutique-Editions/Referentiels/Referentiels-APSAD/Referentiel-APSAD-D2>
- 3) Powel W. The Anarchist Cookbook. With a prefatory note on anarchism today, by P. M. Bergman 1971. Publisher, New York, Lyle Stuart. ISBN 0-9623032-0-8
- 4) Bircher H. Explosive Substances And Their Applications : An Overview CHIMIA International Journal for Chemistry 2004 ; 58 (6) : 355-362.

Chapitre 12. Expertise en balistique

P.Chopin

1. Introduction

La balistique recouvre l'étude des phénomènes auxquels est soumis un projectile. En criminalistique, il s'agit de prendre en compte tout ce qui se rapporte aux armes à feu : utilisation, positionnement dans la classification légale, vérification du bon fonctionnement, révélation des marquages altérés ou détruits, comparaisons et recherches d'antériorité, trajectoires et distances de tir, étude de version et tout autre élément permettant d'apporter à leur propos, une réponse aux interrogations des magistrats et enquêteurs mandants.

La France, pays de tradition cynégétique dispose d'une très forte production tant civile que militaire d'armes individuelles ou autres propagée d'une part par les conflits majeurs qui se sont déroulés sur son territoire au cours du XX^e siècle, puis d'autre part contrairement à cause des traités internationaux de désarmement.

La longévité des armes, étonnamment importante sous réserve d'un entretien correct, est un paramètre à considérer en balistique. L'expertise de matériels anciens peut apparaître anecdotique, toutefois leur très grande variété est une réalité qui implique l'utilisation de bases de données et de moyens analytiques conséquents.

2. Les armes à feu

2.1. Le contexte

Peu répandues, pour des raisons politiques et de coût de fabrication avant le XIX^e siècle, les armes à feu se démocratisent alors grâce à la révolution industrielle qui permet de les produire en série. L'accès aux armes en étant facilité, leur utilisation criminelle devient, sinon courante, du moins suffisamment préoccupante pour que des structures de balistique criminelle soient créées dans plusieurs états dès le début du XX^e siècle.

Jusqu'en 1934, l'achat et la détention des armes à feu sont libres. Comme en témoigne l'extrait du courrier enthousiaste ci-dessous publié par la Manufacture française d'armes et cycles de Saint-Etienne [1], même l'acquisition d'un canon de calibre 37 est accessible au particulier :

« Bordeaux, 29 septembre. Rentré de ma croisière au Groenland depuis huit jours à peine, je tiens à vous féliciter pour le bon fonctionnement du canon à tir rapide de la Manufacture française d'armes et cycles dont j'avais eu la bonne précaution de munir mon yacht. Les services qu'il nous a rendus sont inappréciables. Outre que nous lui devons nos plus belles captures : trois ours, plusieurs phoques, etc., il nous a fait passer quelques moments agréables quand l'un des nôtres eut l'idée de tirer sur les petits icebergs qui flottaient à un ou deux milles de nous. Le tir était vraiment extraordinaire de précision. Je vous autorise à vous servir de ma lettre comme attestation » H. de Salignac

2.2. La législation

Le décret N° 95-589 du 06 mai 1995 modifié, relatif à l'application du décret du 18 avril 1939 [2], fixe le régime des matériels de guerre, armes et munitions en France. Huit catégories sont ainsi répertoriées :

- 1^{ère} catégorie, armes à feu et leurs munitions conçues pour ou destinées à la guerre terrestre, navale ou aérienne.

- 2^e catégorie, matériels destinés à porter ou à utiliser au combat les armes à feu.
- 3^e catégorie, matériels de guerre (matériels de protection contre les gaz de combat et produits destinés à la guerre chimique ou incendiaire).
- 4^e catégorie, armes à feu, dites de défense et leurs munitions.
- 5^e catégorie, armes de chasse et leurs munitions.
- 6^e catégorie, armes blanches.
- 7^e catégorie, armes de tir, de foire ou de salon et leurs munitions.
- 8^e catégorie, armes et munitions historiques et de collection.

L'expertise des armes à feu concerne cinq catégories, à savoir, les 1^e, 4^e, 5^e, 7^e et 8^e catégories.

2.3. Les types d'armes

Les balisticiens examinent essentiellement des armes individuelles, à l'exclusion de quelques mitrailleuses saisies dans des affaires de grand droit commun ou lors d'infractions à la législation sur les armes commises par des collectionneurs.

Ces armes se regroupent dans trois grandes familles :

- Les armes de poing : pistolets et revolvers de tous types (figure 1).
- Les armes longues : fusils et carabines de tous types (figure 2)
- Les armes intermédiaires : pistolets-mitrailleurs (figure 3)



Figure 1 Armes de poing : pistolets et revolvers



Figure 2 Les armes longues : fusils et carabines de tous types



Figure 3 Les armes intermédiaires : pistolets-mitrailleurs

2.4. La volumétrie

La volumétrie des armes actuellement présentes sur le territoire national est particulièrement difficile à établir. Le fichier AGRIPPA (Application Informatique de Gestion du Répertoire Informatisé des Propriétaires et Possesseurs d'Armes), géré par le Ministère de l'Intérieur, devrait apporter prochainement, une réponse en ce qui concerne les armes régulièrement déclarées par leurs propriétaires.

Les chiffres les plus divers circulent. En 2001, Monsieur Vaillant, ancien Ministre de l'Intérieur mentionne un nombre total de 2,8 millions d'armes à feu déclarées. Les chiffres, évidemment évolutifs, sont incertains et ne reflètent pas le nombre total des armes en circulation en France. La fédération nationale des chasseurs annonce quant à elle 1 400 000 pratiquants (premier pays en Europe) et la fédération française de tir déclare 140 000 licenciés.

De source européenne, le parc français serait plutôt situé entre 10 et 30 millions d'armes, plaçant la France dans la moyenne européenne [3]. En l'absence d'une source de référence sur ces armes, pour la plupart illégalement détenues, il faut admettre le caractère très approximatif de ces données chiffrées. Il est bien établi en revanche que la Préfecture de Police de Paris fait procéder annuellement pour les départements d'Ile de France, à la destruction de 15 tonnes d'armes à feu. En 2007, 8 702 armes ont ainsi été broyées [4]. Cette procédure s'applique principalement aux armes pour lesquelles les particuliers ne souhaitent pas le renouvellement d'autorisation ou dont ils se dessaisissent lors d'une succession. L'ampleur de ces destructions souligne l'importance du volume vraisemblable d'armes à feu en France. En témoigne également, le total annuel des armes transmises aux services balistiques des cinq laboratoires de l'Institut National de Police Scientifique (Paris, Lille, Lyon, Toulouse et Marseille), total qui oscille entre 1 500 et 2 500 pièces.

2.5. L'introduction illicite des armes en France

Jusqu'au milieu des années 90, la majeure partie des saisies concerne :

- des armes de chasse (5^e catégorie englobant de nombreuses armes classées en 4^e catégorie comme armes de défense à partir de 1995) ;
- des armes militaires utilisées lors des deux derniers conflits mondiaux
- de nombreuses armes de calibre 22 Long rifle de toutes origines (classées alors dans une catégorie permettant leur achat sans autorisation) ;
- un grand nombre d'armes d'alarme (notamment pistolets et revolvers à grenaille), transformées pour pouvoir tirer des cartouches à projectile unique.

Les modifications de la législation à partir de 1995 et la mise en place de nouveaux circuits d'approvisionnement ont rapidement permis de renouveler le « catalogue » des armes légères sur le marché parallèle. Ceci se trouve favorisé par la déstructuration des états en guerre ou sortant d'un conflit mais aussi par certaines législations étrangères souvent moins restrictives voire inappliquées. La diversité des armes modernes à disposition est considérable, qu'elles proviennent des sites des conflits mondiaux majeurs et inondent les pays proches ou des Balkans et, dans une moindre mesure, du Moyen-Orient. Ainsi, le matériel militaire à la portée des trafiquants grâce à un réseau de distribution facilement accessible est particulièrement varié : armes de poing, fusils d'assaut, mitrailleuses, lance roquettes.

Les fusils d'assaut sont très loin d'être les armes les plus courantes en France. Néanmoins, en quinze ans, les qualifications des affaires dans lesquelles ces matériels sont impliqués ont très clairement évoluées des infractions à la législation sur les armes imputables à des passionnés vers des infractions criminelles parmi les plus graves.

Si le constat actuel qu'une majorité d'armes de guerre provient bien d'Europe de l'est, notamment de Serbie, de Croatie ou d'Albanie... d'autres sources sont possibles. Ainsi, on peut citer à titre d'exemples :

- L'expertise d'un fusil de type Kalashnikov de fabrication ex RDA saisi en Guyane et provenant très certainement du Surinam voisin,
- L'expertise d'un pistolet-mitrailleur UZI, supportant des poinçons militaires israéliens
- Les saisies de matériels d'importations illégales en provenance de pays très lointains ou inattendus : pistolets-mitrailleurs rhodésiens LDP, pistolets semi-automatiques sud africains, de nombreuses armes de tous types ainsi que les cartouches correspondantes provenant du Brésil ou de Chine populaire.

La diffusion de cette dernière catégorie d'armes gagne régulièrement en ampleur depuis 10 ans.

Il convient de noter cependant aujourd'hui que les importations illicites et le trafic d'armes sont rendus de plus en plus difficiles grâce à une meilleure coopération de nombreux états et par une tendance significative au durcissement des législations internationales qui notamment visent à limiter la possession d'armes à feu par les particuliers.

2.6. Les armes transformées et les armes de fabrication artisanale

Les modifications d'armes sont fréquentes et celles-ci diffusent sur la totalité du territoire national.

2.6.1. Les armes de poing

L'arme de poing la plus répandue dans la région parisienne est, actuellement, le pistolet semi-automatique Tanfoglio®, modèle GT 28 (figure 4). Cette arme d'alarme à l'origine, est modifiée à l'échelle semi industrielle dans le sud de l'Europe. Elle inonde les pays de l'Union européenne. En dépit de saisies importantes, le phénomène n'est pas jugulé.

Depuis 2008, le même type de transformation est pratiqué sur des pistolets d'alarme turcs de marques diverses dont la diffusion à l'instar de celle du pistolet Tanfoglio® GT 28, est internationale. En France, elle semble, pour l'instant, ne toucher que la région parisienne.

Des pistolets de calibre 9 mm Makarov, légalement modifiés pour tirer des munitions d'alarme, puis convertis illégalement en 7,65 mm Browning ou en 9 mm court. Ces pistolets, apparus il y a quelques années en Allemagne, sont l'objet d'un trafic qui s'est étendu à la France depuis le début des années 2000.



Figure 4: Pistolet TANFOGLIO® GT 28 de calibre 6.35 mm BROWNING faussement marqué STAR® (fabricant espagnol)

2.6.2. Les armes neutralisées

Classées en 8^{ème} catégorie (armes de collection), elles ont permis aux criminels, d'acheter en toute discrétion, du matériel moderne et efficace après réactivation. Cette opération réalisée en série est devenue lucrative pour « les armuriers du crime ». Ainsi un atelier, tout à fait correctement équipé a été démantelé par les services de police en 2003. En réponse, le banc d'épreuve de Saint-Etienne, seul établissement autorisé en France à procéder aux neutralisations, a rapidement réagi en instaurant de nouvelles procédures qui rendent les réactivations plus difficiles. L'efficacité de ces mesures semble satisfaisante.

2.6.3. Les armes de fabrication artisanale

Enfin, des armes de fabrication artisanale, ou semi artisanale, sont régulièrement découvertes. Il s'agit de stylos ou porte-clefs pistolets, voire d'armes plus élaborées comme des pistolets copies de Mauser C96 et des pistolets-mitrailleurs aux caractéristiques du MAC® modèle 10 ou de l' UZI israélien (Figure 5).

La qualité de ces armes est très inégale, souvent dangereuses pour l'utilisateur mais ce sont parfois des copies fidèles de l'original que seul un examen attentif permet de discerner

Là encore, la diversité des circuits d'importation est surprenante : armes provenant de pays de l'Europe de l'est, du Pakistan, de la Turquie voire de France.

2.7. La Collection Nationale des Armes et Munitions

La variété des armes en circulation nécessite de recourir à de nombreuses bases de données et à des collections de références, parmi lesquelles la Collection Nationale d'Armes et de Munitions (CNAM). Celle-ci est partagée par les laboratoires de police scientifique de Paris, Lyon, Toulouse, Marseille et Lille, l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale et le Service Central d'Identité Judiciaire de la Sous Direction de la Police Technique et Scientifique, composantes étatiques de la balistique expertale française.

La CNAM est organisée par les arrêtés du 01/07/1991 et du 31/07/2001, qui prévoient que le service central des laboratoires de l'Institut National de Police Scientifique collationne chaque année les inventaires des armes vouées à la destruction en provenance des greffes des tribunaux français. Les armes sont ensuite réparties selon les besoins de chaque établissement (figure 6).

Cette organisation permet un approvisionnement régulier en armes reflétant la réalité des matériels saisis sur le territoire national. La CNAM détient ainsi au total environ 23 500 armes.

3. Les cartouches

La cartouche est constituée d'un étui ou d'une douille, d'une charge de poudre disposée dans l'étui/douille, d'une amorce pour les munitions à percussion centrale ou d'une composition détonante présente dans le bourrelet du culot de l'étui pour les percussions annulaires, d'un ou de plusieurs projectiles : balle, plombs, chevrotines (figures 7, 8, 9 et 10).

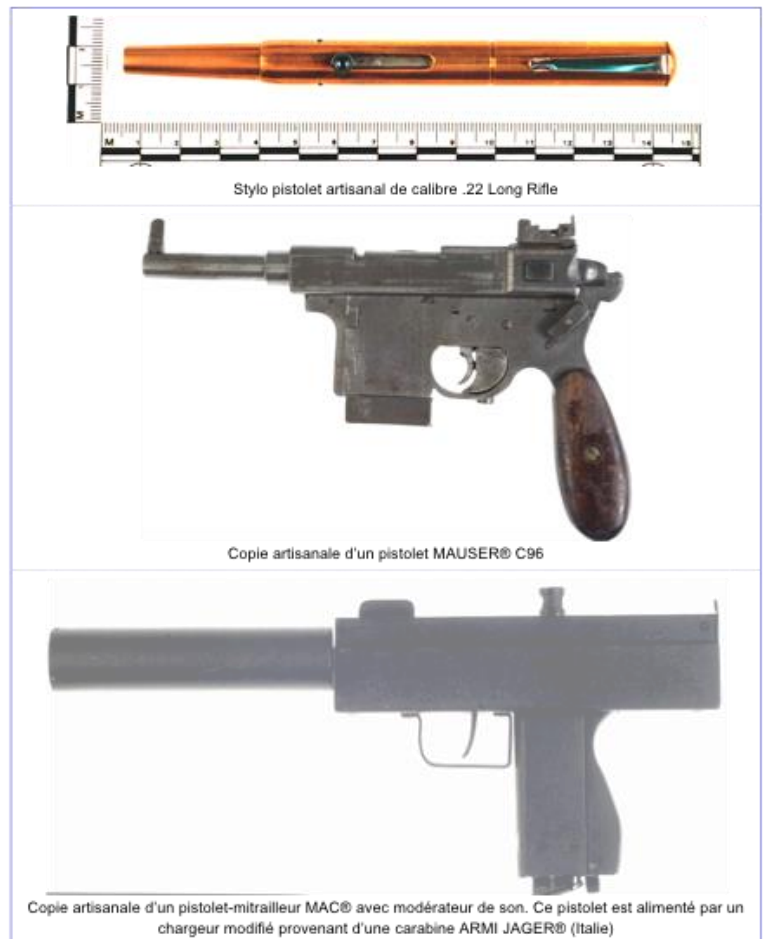


Figure 5 Armes de fabrication artisanale (Source : La Collection Nationale des armes et munitions)

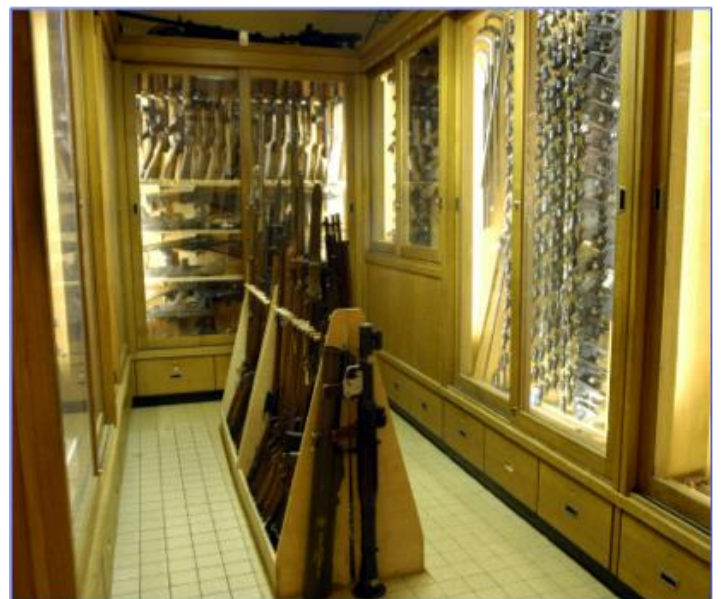


Figure 6 La collection d'armes du laboratoire de police scientifique de Paris

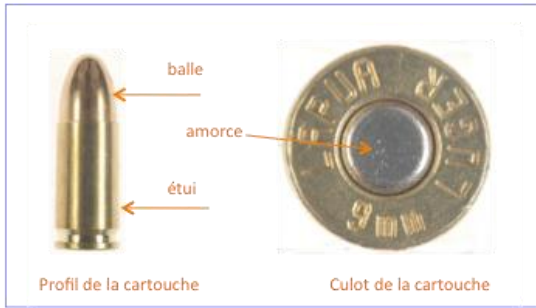


Figure 7 Cartouche de calibre 9 mm LUGER (percussion centrale)



Figure 8 Coupe d'une cartouche de calibre 45 ACP (percussion centrale)

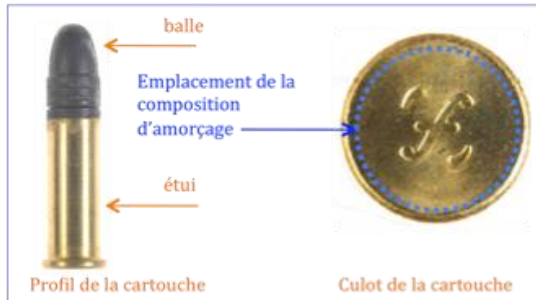


Figure 9 Cartouche de calibre 22 Long Rifle (percussion annulaire)



Figure 10 Cartouche de calibre 12

4. Les comparaisons

Les examens comparatifs répondent à plusieurs impératifs. Il s'agit de décrire l'arme saisie, d'établir sa catégorie légale, de vérifier son bon fonctionnement et d'effectuer des tirs de comparaison afin de recueillir des éléments qui facilitent des recherches sur son éventuel usage antérieur.

L'expertise de l'arme transmise implique, principalement, la détermination de sa nature (pistolet semi-automatique, revolver, fusil), de sa marque, du modèle, du numéro de série, de son calibre, de son système d'alimentation, de sa capacité, de l'état d'entretien, du système de fonctionnement, du type de percussion, du mode d'extraction et d'éjection, des sûretés dont elle est équipée, du type de canon et de son poids de détente et de différentes mesures.



Figure 11 Stand de Tir

Les tirs d'essai sont généralement effectués dans une colonne d'eau (puits de tir) ou dans un caisson. Le principe est non seulement de vérifier le bon fonctionnement de l'arme mais également de récupérer des balles et étuis tirés, non altérés qui sont utilisés pour les recherches d'antériorité. Ces balles et étuis sont nommés « éléments de tirs de comparaison ».

4.1. La balistique intérieure

Le percuteur de l'arme utilisée frappe l'amorce, ou la composition d'amorçage contenue dans l'étui. L'amorce, ou la composition d'amorçage détone, provoquant la combustion de la charge de poudre. Il s'ensuit la production d'une grande quantité de gaz à haute température. La pression des gaz propulse la balle tout d'abord dans le canon de l'arme, puis en dehors du canon.

Si le tir est effectué au moyen d'une arme automatique ou semi-automatique, un étui est extrait puis éjecté de la chambre du canon, après le premier coup de feu, sans intervention du tireur. La balle et l'étui tirés sont nommés « éléments de tir ».

Les phénomènes se produisant à l'intérieur de l'arme avant la sortie du projectile concernent la « balistique intérieure ». Lors du tir, la pression des gaz agit immédiatement sur le contenant de la charge de poudre, à savoir l'étui qui se retrouve plaqué contre la chambre du canon et épouse étroitement tous les obstacles rencontrés (tranche de culasse, bouclier). La pression développée est si importante que toutes les pièces métalliques, les aspérités présentes au contact de l'étui le marqueront de façon définitive.

Dans le cas d'un tir effectué dans une arme dotée d'un canon rayé, la balle propulsée force les rayures qui impriment un mouvement rotatif permettant la stabilisation du projectile. Ce dernier est alors, tout comme l'étui, profondément marqué.

Toutes ces traces sont nommées « caractéristiques d'empreintes de tir ». Certaines sont des caractéristiques générales, d'autres des caractéristiques individuelles.

4.2. Les caractéristiques générales d'empreintes de tir

Ces traces sont communes à plusieurs armes appartenant à une même famille. Leur exploitation, outre l'appréciation du calibre de l'élément de tir examiné, permet d'établir le type de l'arme utilisée.

Les principales caractéristiques générales des empreintes de tir rencontrées sur les étuis/douilles (Figure 12) sont :

- Forme et emplacement du passage de percuteur ;

- Forme et emplacement du percuteur ;
- Forme et emplacement du passage d'éjecteur ;
- Forme et emplacement de l'éjecteur ;
- Forme et emplacement du passage d'extracteur ;
- Forme et emplacement de l'extracteur ;
- Forme de l'indicateur de chargement ;
- Présence de stries de fond de culasse.

Les caractéristiques générales d'empreintes de tir rencontrées sur les balles tirées dans un canon rayé sont les suivantes (figures 13) :

- Nombre de rayures ;
- Largeur des rayures ;
- Orientation des rayures ;
- Type de rayures.

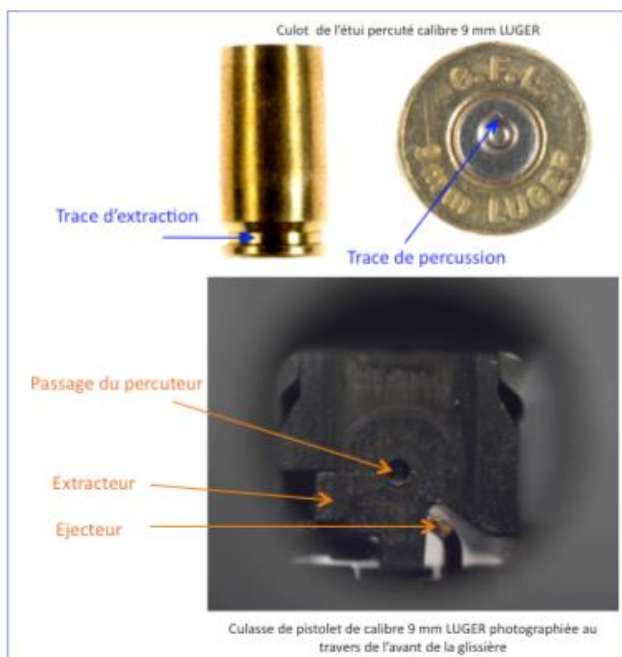


Figure 12 Etui percuté de calibre 9 mm LUGER

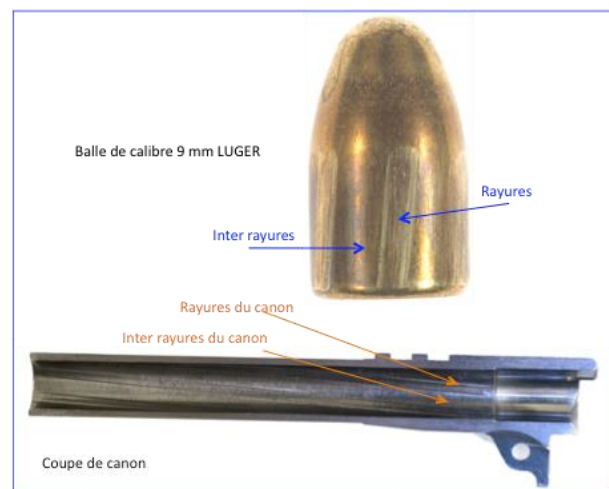


Figure 13 Empreintes de tir sur balle calibre 9 mm LUGER tirée dans un canon rayé

4.3. Les caractéristiques individuelles d'empreintes de tir

Il s'agit des caractéristiques propres à une seule et même arme. Elles sont acquises au cours de la fabrication et lors du vieillissement de l'arme. Ce sont les éléments que le balisticien exploite au microscope de comparaison afin d'identifier l'arme utilisée.

Les principales caractéristiques individuelles rencontrées sur les étuis ou les douilles sont les traces laissées par :

- le percuteur ;
- la tête de culasse ;
- l'éjecteur ;
- l'extracteur ;
- l'indicateur de chargement (figure 14).

Les principales caractéristiques individuelles rencontrées sur les balles sont les détails visibles dans les rayures et inter rayures (figure 15).

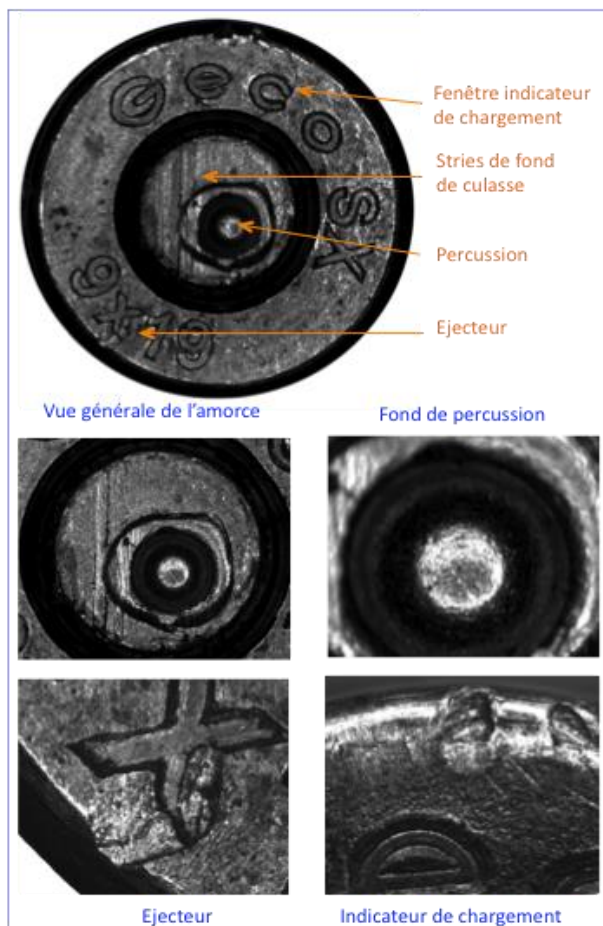


Figure 14 Principales caractéristiques individuelles rencontrées sur les étuis/douilles

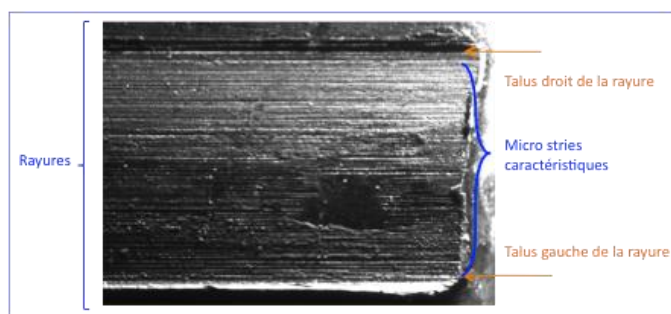


Figure 15 Détails visibles dans une rayure de balle

4.4. Historique des comparaisons d'éléments de tir

Dès la fin du XIX^e siècle, de nombreux experts criminalistes s'attachent à démontrer qu'il est possible de lier des éléments de tir « de question » (balles, étuis percutés) découverts sur une scène d'infraction, à l'arme utilisée au cours de celle-ci.

Affaire Echailler

Le Professeur Alexandre Lacassagne (1843-1924), célèbre médecin légiste lyonnais recueille, au cours d'une autopsie effectuée en février 1888, trois balles. Les projectiles extraits sont creusés d'un sillon incompatible avec les observations médico-légales. Il écrit à ce sujet [5]: « *Il fallait donc que les projectiles, avant de sortir de l'arme, rencontrassent dans le canon même une saillie irrégulière qui imprimait une déformation partielle. C'était en quelque sorte, une marque ou un signe d'identité du revolver* ».

Une arme, saisie au cours de l'enquête, est examinée par un armurier de la société Verney Carron ® (fabricant stéphanois). Le technicien mandaté remarque que le guidon de l'arme débouche à l'intérieur du canon. Ce relief explique les sillons constatés. Les balles recueillies à l'issue des tirs de comparaison portent un rainurage similaire à celui des trois balles découvertes. L'examen, à la loupe, de l'intérieur des sillons permet de mettre en évidence des analogies qui sont jugées significatives : « *En résumé, nous croyons que les différentes balles présentent des déformations tellement identiques ou semblables, que les unes et les autres, ont dû sortir du même revolver. Cette marque d'identité était si évidente qu'elle entraîna la conviction du jury* » [5].

Il s'agit, sans doute, de la première comparaison balle / arme ayant débouché sur une identification en France.

En 1913, Victor Balthazard [6], professeur de médecine légale de l'Université de Paris, rédige une publication consacrée à l'identification des douilles tirées dans un pistolet semi-automatique : « *Les recherches que nous avons poursuivies sur les douilles éjectées par les pistolets automatiques, nous permettent de dire qu'elles portent toujours la trace caractéristique laissée par le pistolet et qu'elles constituent une véritable signature laissée par le meurtrier.* »

Le professeur Balthazard est le représentant d'un courant de criminalistes dont P. Jesrich, A. L. Hall, J. Mage, C.E. Waite qui travaillent sur les comparaisons balistiques. En ce début de siècle, il prône l'identification des douilles percutees par l'exploitation des caractéristiques individuelles laissées par le percuteur, le passage de percuteur, la tranche de culasse et l'éjecteur.

Il expose également, lors du congrès de médecine légale de 1922, une technique consistant à « dérouler » des balles sur des feuilles d'étain, obtenant ainsi le transfert des rayures et inter rayures que portent les projectiles comparés. L'élément de question découvert sur la scène de crime ou extrait du corps de la victime et l'élément recueilli à l'issue d'un tir effectué dans l'arme suspecte transmise par les enquêteurs permettent cette comparaison (figures 16 et 17¹).

Cette technique limitée aux balles non déformées a été pratiquée jusqu'au début des années 1970, non pas au titre des comparaisons, mais pour l'archivage « physique » des caractéristiques des empreintes de tir des balles incriminées.

Si au début du siècle dernier, de nombreuses publications spécialisées traitent des liens existant entre une arme, les douilles et les balles qu'elle a pu tirer, les moyens efficaces de démonstration font encore défaut. Les conclusions des experts, du moins en ce qui concerne les comparaisons, sont difficilement reçues lors des procès. Les expertises sont régulièrement confiées à des armuriers, hommes de l'art qui sont souvent les seuls « sachants » reconnus. Quelle que soit leur compétence en armurerie, ces techniciens sont rarement au fait des avancées dans le domaine des comparaisons balistiques et ne disposent quasiment jamais des moyens analytiques adéquats (microscopes, matériel photographique etc.).

Jusqu'au milieu des années 20, les illustrations sont essentiellement effectuées par le biais d'agrandissements photographiques juxtaposés.

Un extrait d'une communication de J. Mage² et De Rechter³, datée de mai 1923, effectuée lors du 8^e congrès de médecine légale, concerne « l'identification des douilles et des projectiles tirés ». [7]

Identification des douilles et des projectiles tirés

« Etant données des douilles retrouvées sur les lieux, et des armes saisies, déterminer si les douilles ont été tirées par l'une des armes saisies.

Pour résoudre ce problème, nous tirons avec les armes saisies une série de cartouches autant que possible de fabrication de même origine que les douilles saisies. Nous obtenons ainsi une série de douilles de comparaison. Nous soumettons ces séries de douilles à un examen microscopique comparatif avec chacune des douilles saisies.

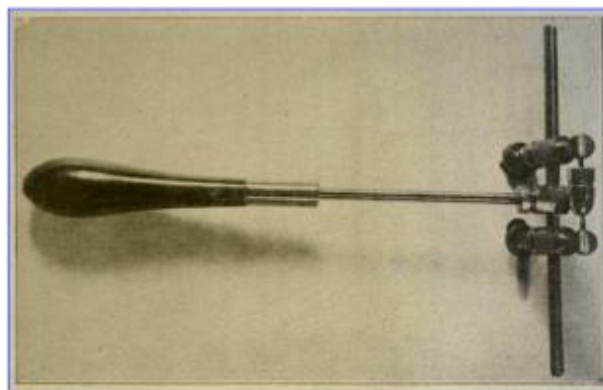


Figure 16 Dérouleur de balle du début des années 1920

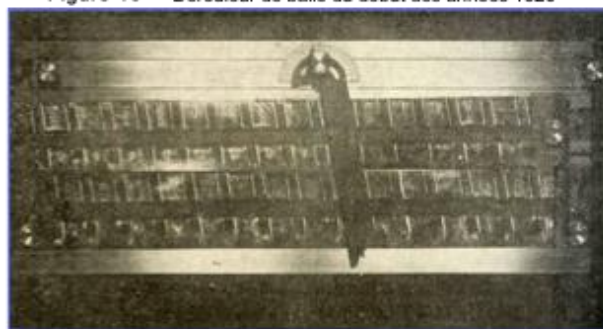


Figure 17 Support de déroulés de balles du début des années 1920

¹ Ces deux images sont extraites des Archives d'anthropologie criminelle et de médecine légale, Tome XXVIII, N° 240 du 15 décembre 1913

² J. Mage : Lieutenant colonel, Professeur à l'école de guerre et à l'école militaire royale de Belgique

³ De Rechter. Médecin légiste. Directeur de l'école de criminologie de Bruxelles

Cet examen permet de faire un classement provisoire d'identification.

Ce classement met hors de cause les armes non identifiables.

Avec les armes intéressantes, nous tirons une nouvelle série de cartouches dont nous avons préalablement photographié les culots afin de fixer les anomalies qui peuvent être dues à la fabrication.

Les douilles tirées sont ensuite photographiées sous un grossissement linéaire de 10 environ et sous un éclairage de nature à mettre les empreintes en évidence, en ayant soin de respecter pour chacune d'elles le même grossissement et la même direction de l'éclairage par rapport aux caractéristiques de la douille : marque de l'éjecteur, marque du butoir, centre de la percussion, etc.

Nous effectuons le même travail avec chacune des douilles saisies en ayant soin de respecter la même orientation de l'éclairage et le même grossissement.

Nous agrandissons alors les grossissements à 3 ou 4 diamètres au maximum. Nous obtenons ainsi des dessins comparables quant à la forme et quant aux dimensions. Il suffit dès lors de mettre en évidence par un travail de repérage l'identité des empreintes des douilles saisies et des douilles de comparaison pour établir une conclusion.

C'est là le travail par traçage. Nous opérons en outre par la méthode de superposition en reproduisant sur films (transparents) chacun des grossissements des douilles de comparaison et des douilles saisies, en vue de constater si les organes qui constituent l'arme (coup de butoir, empreintes de percuteur, etc.) occupent la même position relative (M. Balthazard opère à l'aide d'un calque, ce qui, à notre avis, constitue une méthode également précise) ».

Cette présentation est tout à fait représentative des comparaisons telles qu'elles sont envisagées au début du XX^e siècle. Néanmoins, malgré sa justesse, cette technique de comparaison de douilles ne peut pas être systématisée car elle s'applique difficilement à un grand nombre d'échantillons. Elle concerne principalement les éléments dotés de caractéristiques individuelles de tir particulièrement évidentes.

Outre Atlantique, des travaux sur les comparaisons balistiques sont également menés au tout début du XX^e siècle en raison, comme en Europe, de la prolifération des armes à feu et de leur usage criminel. Ils établissent le lien entre une arme donnée et un élément de tir mais se fondent sur des observations par trop empiriques.

En 1915, l'intervention de Charles E. Waite, enquêteur New-Yorkais permet d'éviter une dramatique erreur judiciaire lors de la condamnation à la peine capitale, pour le double homicide par arme à feu, d'un paisible ouvrier agricole nommé Charles Stielow. Le verdict initial est essentiellement prononcé au vu des conclusions de l'expertise balistique d'un escroc se disant expert (Albert Hamilton) dont Waite remet en question le fondement. Mandaté par le gouverneur de New York, il démontre de façon éclatante que l'arme saisie chez le condamné est incompatible avec les balles mortelles. Stielow est acquitté en 2^e instance.

Cette affaire amène Waite à s'intéresser à la matière balistique. Il développe un fichier regroupant les caractéristiques d'empreintes de tirs des armes à feu et, associé à Calvin Goddard, Philipp O. Gravelle (photographe et expert en microscopie) et John Fisher, crée dans les années 1920 le premier laboratoire officiel nord américain dédié à la balistique : le « Bureau of forensic ballistics » implanté à New York.

C'est au sein de ce laboratoire qu'est utilisé en 1925 le premier microscope comparateur ou comparateur de Gravelle adapté aux besoins de la balistique. Ce matériel, va enfin permettre aux techniciens de comparer des éléments de tirs dans de bonnes conditions. Des matériels similaires se sont fait jour à la même époque mais Goddard et Gravelle, sont considérés comme les fondateurs de la micro comparaison moderne.

Le principe de fonctionnement de ce « microscope comparateur » est l'examen simultané de deux éléments de tirs (balles, fragments, étuis etc.), dits « de question » (provenant d'une scène d'infraction) ou d'un élément « de question » et d'un élément de comparaison (élément tiré dans une arme saisie).

L'opérateur visualise précisément, réunies au sein d'une même image au moyen de deux trajets optiques placés en parallèle, les caractéristiques individuelles (se rapportant exclusivement à l'arme utilisée) des deux éléments de tirs. Ces éléments, illuminés par divers systèmes d'éclairage, sont séparés par une ligne verticale appelée « ligne de foi ». La présence, ou l'absence, de caractéristiques individuelles communes, mises en évidence par le biais d'objectifs au grossissement similaire, permet à l'analyste de se forger une opinion circonstanciée (figure 18).

Malgré la validation du « microscope de comparaison » de Gravelle par les plus hautes autorités de l'époque, quelques années d'attente seront nécessaires pour que la méthode soit reconnue. Il faudra pour cela que deux affaires défrayent la chronique : les dossiers « Sacco et Vanzetti » et le « massacre de la St Valentin ».

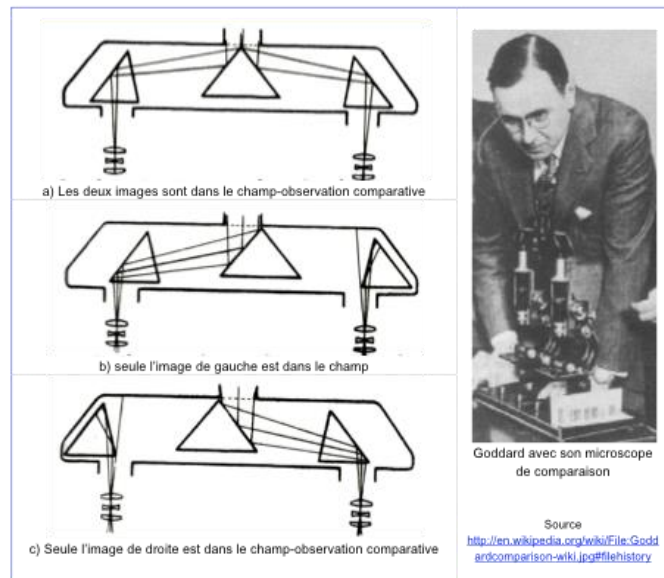


Figure 18 Schéma de principe du microscope de comparaison selon la notice LEITZ® (52-15/frz.R)

Sacco et Vanzetti sont deux anarchistes d'origine italienne, Dans un climat de révolte sociale, ils sont arrêtés le 2 mai 1920 soupçonnés d'être les auteurs de deux braquages avec meurtre perpétrés sur deux gardes de sécurité dans le Massachussetts. Malgré l'absence de preuve formelle de leur culpabilité, et après de longues péripéties judiciaires et expertales, ils sont tout deux exécutés à la chaise électrique en 1927. Calvin Goddard, grâce à son « microscope de comparaison », clarifie les divergences et incohérences des experts tant de l'accusation (William Proctor et Charles van Amburgh) que de la défense (James Burns et J. Henry Fitzgerald). Ses conclusions qui impliquent dans le crime, l'arme découverte sur Sacco lors de son interpellation, sont déterminantes. Même l'un des experts mandatés par la défense reconnut publiquement leur justesse.

Deux expertises réalisées en 1961 et 1983 confirment les résultats de GODDARD. La suspicion de substitution de pièces, maintenue par la défense et les comités de soutien des condamnés, n'est pas exclue et permettrait d'expliquer les résultats obtenus par les premiers experts balisticiens de New York.

Le massacre de la St Valentin à Chicago le 14 février 1929, (règlement de compte entre deux bandes rivales : Al Capone contre Georges Moran, le Branque), a marqué les esprits par son ampleur (sept morts), mais aussi par le mode opératoire. Les gangsters d'Al Capone en uniformes de policiers et armés de mitrailleuses ont exterminé leurs adversaires dans un vieux garage situé au 2122 North Clark Street où ils sont censés charger une cargaison de whisky. Les nombreux étuis percutés retrouvés dans le hangar où sont découverts les corps des membres de la bande de Moran ont été examinés par Goddard. Il en attribue le tir à deux pistolets-mitrailleurs Thompson que les policiers découvriront ultérieurement chez un tueur d'Al Capone. Il dédouanera formellement la police dont les armes ne pouvaient pas avoir été utilisées.

Ces deux expertises, au retentissement international, ont permis au « microscope de comparaison » de gagner ses lettres de noblesse.

L'élève du Professeur Lacassagne, Edmond Locard (1877 - 1966), mécène et précurseur, crée et finance à Lyon, en 1912, le premier laboratoire de police scientifique français comportant une unité balistique. Il est l'auteur d'un « Traité de criminalistique en sept tomes » [8], faisant référence internationale. Parmi les nombreux scientifiques dont il s'entoure, Harry Soderman, criminaliste suédois, met au point un appareil de comparaison vers la fin des années 20 : « l'haslescope » (figure 19).

Le « microscope de comparaison », maintenant nommé macroscopie de comparaison, est encore aujourd'hui, l'équipement le plus régulièrement utilisé pour les comparaisons d'éléments de tir. En France, du moins en ce qui concerne l'expertise réalisée dans un laboratoire de l'Institut national de police scientifique, qu'un rapprochement soit effectué au moyen d'un système de recherche automatisé ou par tout autre matériel, la validation s'effectue systématiquement au macroscopie de comparaison.



Figure 19 L'haslescope de SODERMAN



Figure 20 Macroscopie de comparaison LEICA ® FSC.
Grossissement de x10 à x120 – Eclairages frisans, coaxiaux et annulaires

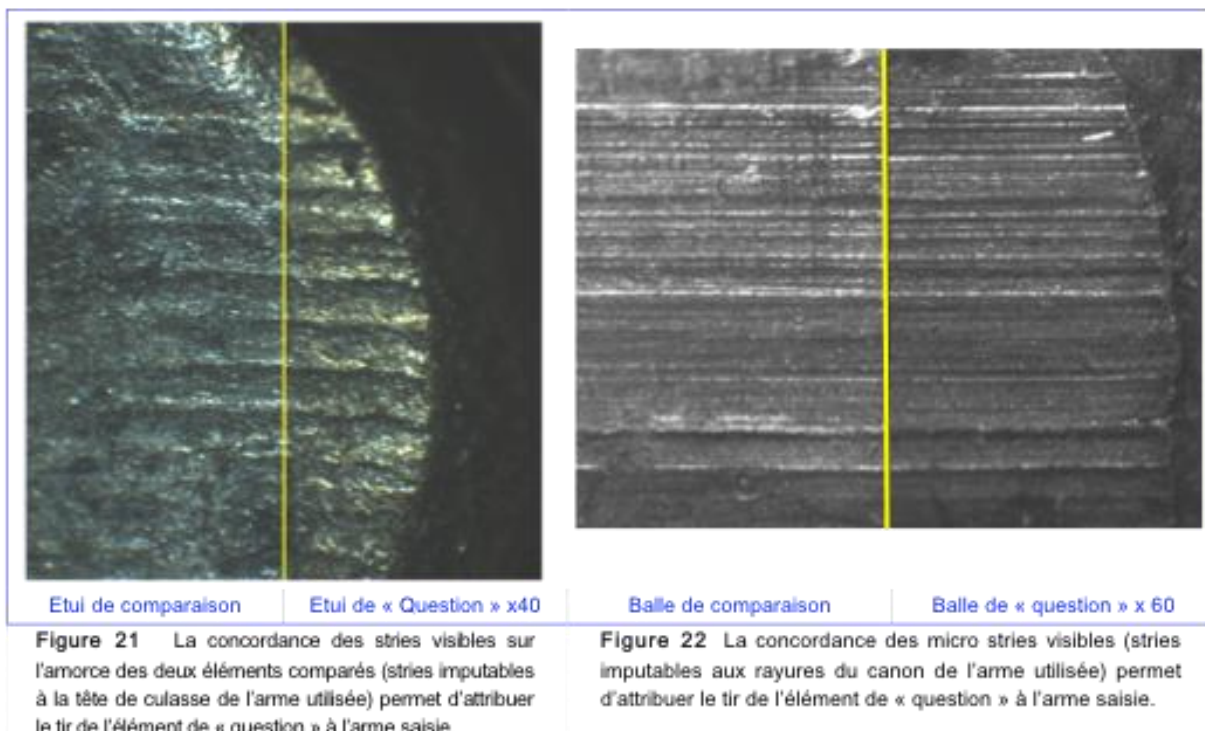
La figure 20 présente le macroscopie de comparaison de dernière génération, équipant les laboratoires de police scientifique de Lille, Paris et Lyon. La qualité des optiques et l'évolution des éclairages et des systèmes de prise de vue autorisent avec cet appareil, une visualisation sans commune mesure avec celle que permettait le comparateur de Gravelle.

Les deux illustrations photographiques présentées figures 21 et 22 ont été réalisées avec un macroscopie de comparaison LEICA ® FSC.

La concordance des micro stries visibles (stries imputables aux rayures du canon de l'arme utilisée) permet d'attribuer le tir de « l'élément de question » à l'arme saisie (figure 20).

La concordance des stries visibles sur l'amorce des deux éléments comparés (stries imputables à la tête de culasse

de l'arme utilisée) permet d'attribuer le tir de l'élément de « question » à l'arme saisie (figures 21 et 22).



4.5. Interprétation des résultats

Jusqu'en 2008, les experts des laboratoires de police scientifique utilisent une échelle en trois points :

- Comparaison positive
- Comparaison négative
- Comparaison ne permettant pas de se prononcer

Depuis, ils suivent comme dans d'autres domaines une échelle en cinq points recommandée par l'European Network of Forensic Science Institutes (**ENFSI**), organisation qui développe les échanges entre les laboratoires de criminalistique et tend à la normalisation de l'expertise au niveau international.

Cette échelle affine l'interprétation par l'emploi de deux niveaux intermédiaires :

- Comparaison positive sous réserves
- Comparaison négative sous réserves

Ces deux échelles sont les plus fréquentes en balistique. Des contrôles de compétences internationaux le justifient. En effet, les tests balistiques circulaires de l'ENFSI impliquent l'utilisation de l'échelle à cinq niveaux, ceux de la société **CTS** (Collaborative Testing Service), l'échelle à trois niveaux. Ces contrôles concernent exclusivement la comparaison des éléments de tirs, cœur de l'activité.

5. Qualitatif et quantitatif

Longtemps, la comparaison des éléments de tir a été exclusivement qualitative et basée sur les capacités et l'expérience de l'expert mais évidemment hautement dépendantes du matériel dont il disposait. Un seul détail commun à deux éléments confrontés (une forme atypique, une strie particulièrement profonde et caractéristique) peut permettre au balisticien de se forger une opinion et conclure à une « comparaison positive ». A contrario, la multiplicité d'analogies plus ou moins significatives n'est pas une garantie absolue d'identité des sources.

Il n'empêche que comme en témoignent les affaires Stielow et Sacco et Vanzetti, les erreurs d'appréciation étaient relativement nombreuses au début du XX^e siècle. Ces erreurs ont accéléré les recherches et participé

de la mise au point de matériels adaptés à la comparaison des éléments de tirs parmi lesquels les macroscopes de comparaison qui ont corrigé la subjectivité des interprétations de résultats d'analyses. De même, l'amélioration des techniques photographiques donne désormais accès à l'exploitation facilitée et utile des résultats techniques à un plus grand nombre de spécialistes. L'emploi de données quantitatives s'est cependant imposé progressivement pour étayer d'arguments plus sécurisants les comparaisons balistiques. Ainsi, à l'instar de ceux qui ont été élaborés pour les comparaisons d'empreintes génétiques ou digitales, des seuils de positivité comparative ont été définis en matière balistique.

Des études statistiques menées en 1955 par Alfred Biasotti [9] sur la présence de stries consécutivement concordantes *Consecutively Matching Striae*, CMS sur les balles (les douilles percutées ne supportent pas systématiquement des stries) conclurent que :

« Pour des traces tridimensionnelles, des séries de CMS d'un nombre supérieur ou égal à 2 groupes de 3, ou 1 groupe de 6, constituent une identification positive.

Pour des traces bidimensionnelles, des séries de CMS d'un nombre supérieur ou égal à 2 groupes de 5, ou 1 groupe de 8, constituent une identification positive ».

Ces critères sont abondamment développés par Bruce Moran, responsable du service balistique du bureau du District Attorney de Sacramento (Californie). Il les applique lorsque l'exploitation des tests réalisés au microscope de comparaison sur les éléments de tir, ne lui permet pas de trancher. Il utilise donc parallèlement des critères qualitatifs et quantitatifs.

Toutefois l'application de critères quantitatifs n'est pas toujours aisée voire efficace pour l'expert balisticien.

Si l'évaluation des groupements CMS est peu contestable, eu égard à l'importante démarche statistique qui la sous-tend, la prise en compte des stries comptabilisées pose davantage question. Cette évaluation implique en effet la sélection des stries concordantes parmi des stries « parasites » (bruit de fond) laissée à l'appréciation du balisticien et réintroduit une dose de qualitatif dans une méthode quantitative.

Le consensus sur ces méthodes n'est pas encore établi même si le caractère suffisamment probant des résultats obtenus a conduit certains experts à en choisir l'application en pratique courante. D'autres en revanche, plus nombreux aujourd'hui encore, arguant du fait que les critères CMS ne sont pas systématiquement applicables aux étuis faute de striation sur nombre d'entre eux, s'en tiennent aux méthodes qualitatives.

6. Evaluation des distances de tir

Lors du tir, la pression des gaz projette violemment divers éléments, notamment par le canon (figure 23). Ces éléments, que l'on peut retrouver dans les blessures ou autour de l'orifice d'entrée, sont autant d'indices permettant d'évaluer la distance du tir. Il s'agit essentiellement :

- des grains de poudre partiellement brûlés,
- des grains de poudre imbrûlés,
- de l'enfumage (résidus de tirs, graisse, crasse).
- du nuage d'enfumage
- de grains de poudre en phase de combustion
- de flamme

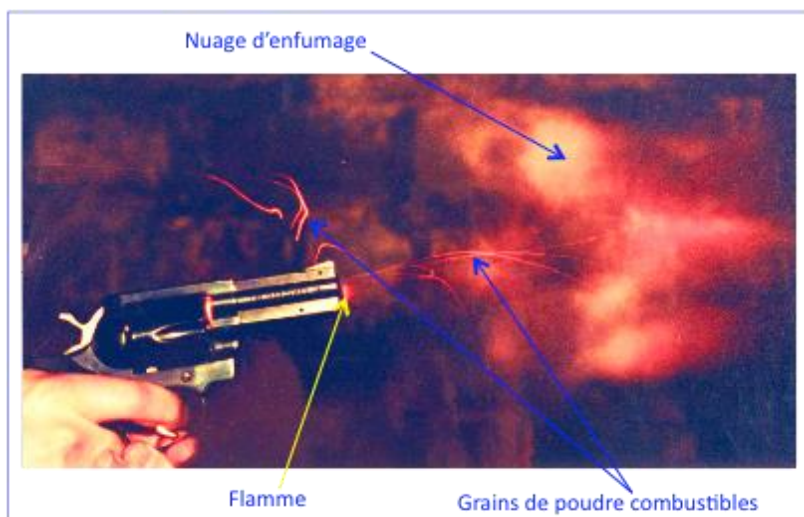


Figure 23 Projections sous la pression des gaz

L'examen de l'orifice d'entrée d'un projectile sur le premier support atteint (vêtement, prélèvement cutané, etc.) permet d'observer ces indices. Lorsqu'il y a une blessure, cet examen ne peut se substituer à une expertise médico-légale. Il est alors effectué au cours des analyses réalisées lors de l'autopsie.

6.1. Tir à bout touchant



Figure 24 Eclatement en forme de croix

Orifice d'entrée obtenu à l'issue d'un tir effectué dans un support textile. La forme en croix caractérise un tir réalisé à bout touchant.

Les essais sont effectués, vêtement positionné devant un bloc de pâte de type plastiline ®.

En ce qui concerne les projectiles multiples (grenaille, chevrotines), la charge reste groupée au diamètre du canon (effet balle). Dans tous les cas (tir d'une balle ou de projectiles multiples), l'action combinée de la pression des gaz et de l'élément, ou des éléments tirés, fait éclater le tissu ou les chairs, en général en forme de croix). Des résidus sont projetés à l'intérieur des vêtements, blessures, etc.

Une zone de brélure peut être présente autour de l'orifice (figure 24).

La présence de résidus de tir et de grains de poudre à l'intérieur de la blessure ainsi que l'aspect irrégulier de l'orifice, caractérisent un tir effectué à bout touchant. Les constatations sont ici compatibles avec l'hypothèse d'un suicide (figure 25).



Figure 25 Orifice d'entrée dans un prélèvement de chair

6.2. Tir à très courte distance

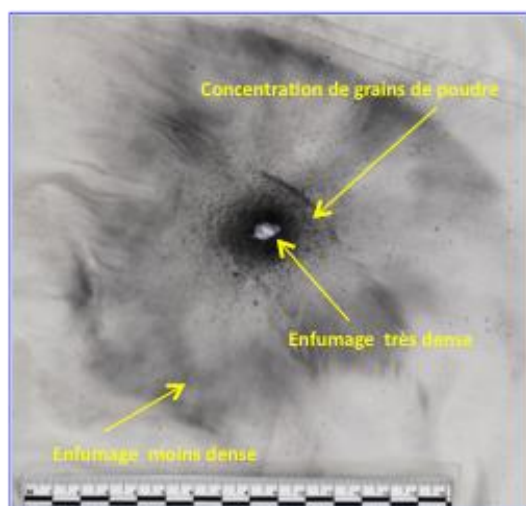


Figure 26 Balle de calibre 45 ACP tirée à 2 cm du vêtement

Il n'y a pas de différence fondamentale entre les orifices provoqués par des projectiles multiples groupés au diamètre du canon et ceux consécutifs aux tirs de projectiles uniques. On observe des zones en cocarde au bord de l'orifice : une collerette noirâtre d'enfumage très dense, des incrustations ou dépôts de grains de poudre imbrûlés ou partiellement brûlés, éventuellement une zone de brûlure (figure 26).

6.3. Tir à distance rapprochée

Il n'y a pas de différence sensible entre les orifices des projectiles multiples et uniques. On retrouve des dépôts de grains de poudre imbrûlés ou partiellement brûlés dont la concentration décroît à partir du centre (figure 27).



Figure 27 Balle de calibre 45 ACP tirée à 30 cm du vêtement

6.4. Tir à toute autre distance

Il se constitue une corolle d'essuyage. Elle est le produit du ramonage du canon de l'arme par le projectile qui dépose au bord de l'orifice d'entrée des résidus de poudre, crasse, poussière métallique, huile (figure 28). La corolle d'essuyage caractérise seulement l'entrée du projectile.

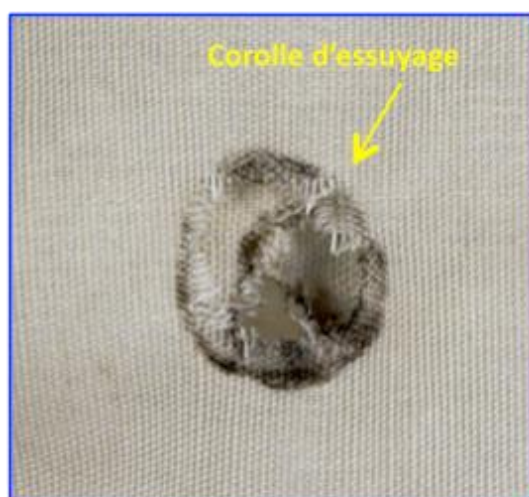


Figure 28 Balle de 45 ACP tirée à 3,5 m du vêtement. La corolle d'essuyage ne caractérise seulement l'entrée du projectile

6.5. Observation spécifique aux tirs à projectiles multiples

La dispersion de la grenaille, des plombs, des chevrotines intervient à partir de distances qui varient selon l'arme utilisée. Cette dispersion s'amplifie au fur et à mesure que les distances augmentent. C'est la conséquence de la résistance de l'air sur les projectiles. Les grains périphériques de la gerbe, déformés lors de leur passage dans le canon, sont les premiers écartés, puis la déviation touche ceux de « l'intérieur » de la gerbe (figure 29).

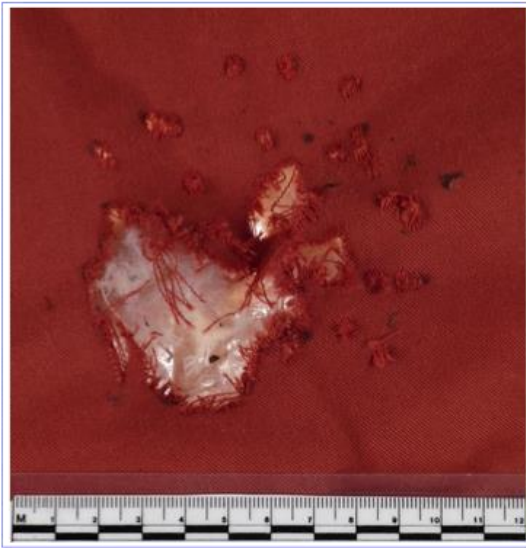


Figure 29 Cartouche de calibre 12, plombs N° 2, tirée à 5 m du vêtement

Dans tous les cas de figure, après avoir examiné le vêtement saisi et recherché toute trace en rapport avec l'utilisation d'une arme à feu, il faut effectuer des tirs expérimentaux à des distances variées sur un support vierge, si possible avec l'arme incriminée et des munitions identiques à celles utilisées. La distance de tir ayant causé la marque observée sur le scellé est déterminée par comparaison des éléments caractéristiques visibles sur le support expérimental.

Les indications citées supra sont théoriques et varient selon les armes et calibres concernés. De même, de nombreux paramètres, rapportés dans la procédure d'enquête (pluie abondante au moment du tir, intervention des services de secours etc.) doivent être pris en compte. A titre d'exemple, cette remarque peut être illustrée par le dossier suivant : Une victime est retrouvée décédée en forêt. Ses blessures ont été mordillées par des animaux sauvages produisant une modification importante

des éléments pouvant caractériser la distance de tir. Cette information essentielle a été fournie a posteriori par le médecin légiste. Ainsi, on comprend que le seul examen du vêtement saisi, sans renseignement contextuel et sans accès au rapport médico-légal, rend imprécise voire incertaine la détermination d'une distance de tir.

Par ailleurs, un mauvais conditionnement et une manipulation excessive du vêtement avant sa mise sous scellé, sont susceptibles d'oblitérer tout ou partie de certains des indices évoqués. Il s'ensuit qu'un grain de poudre isolé sur la surface externe d'un vêtement ne peut pas donner une indication objective de la distance de tir.

A titre anecdotique, ci-après sont présentées deux photographies correspondant à l'exploitation possible des traces trouvées sur un support textile. Dans le cas concerné, il a été démontré que le tir provient d'une arme insérée dans une taie d'oreiller et établi un lien direct entre le revolver saisi, les enfumages et les brûlures visibles (figure 30).



Figure 30 Tir à travers une taie d'oreiller

7. Détermination des trajectoires de tir

7.1. Les trajectoires intracorporelles établies suite à l'examen d'un vêtement

La détermination d'une trajectoire implique, dans la majeure partie des cas, la présence d'au moins deux points à aligner, à savoir un orifice d'entrée et un orifice de sortie, ou un orifice d'entrée et la localisation précise du projectile inclus (éléments fournis par le rapport médico-légal).

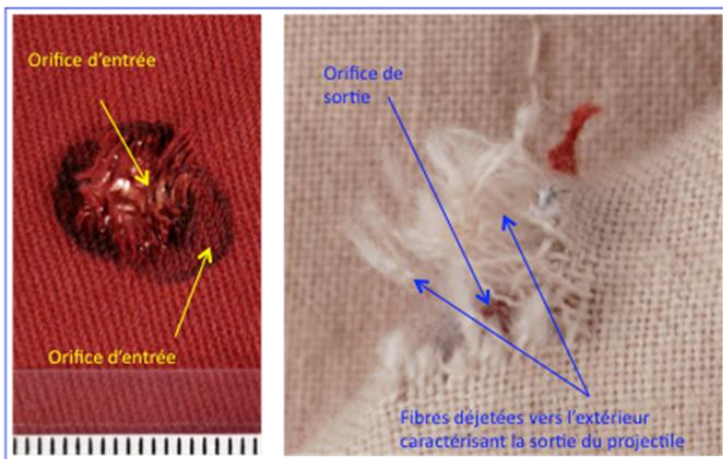


Figure 31 Orifices d'entrée et de sortie d'une balle de calibre 45 ACP tirée à 3,5 m dans un vêtement.

Ainsi, le premier temps de l'examen consiste à différencier un orifice d'entrée d'un orifice de sortie. Le premier est généralement caractérisé par sa forme approximativement circulaire (hors tirs effectués à bout touchant) entourée de grains de poudre et par la présence d'une trace d'essuyage, de brulure ou d'enfumage etc. L'orifice de sortie est identifié par le sens d'arrachement des fibres déjetées vers l'extérieur voire par sa forme plus ou moins irrégulière ou sa dimension plus importante (figure 31).

Un mannequin est revêtu des vêtements saisis. Une baguette métallique relie alors les deux points définis, mettant en évidence la trajectoire du tir. Celle-ci est déterminée par rapport à une victime supposée debout et statique.

Le résultat ne tient pas compte de la déviation des projectiles traversant un milieu hétérogène tel que le corps humain et objectivée au cours de l'autopsie ou du positionnement exact du vêtement au moment du départ du coup de feu, ajusté ou non, éventuellement étiré au cours d'une bagarre (figure 32).



Figure 32 Trajectoire d'une balle déterminée sur un mannequin à partir d'un orifice d'entrée et d'un orifice de sortie observés sur un blouson

7.2. Trajectoire extérieure, détermination de l'origine d'un tir

Le principe reste le même, seule la nature des points à aligner change (un orifice et un impact, deux orifices consécutifs, un orifice et une trace de ricochet).

La matérialisation de la trajectoire est réalisée au moyen d'une visée au rayon laser reliant les deux points et prolongée jusqu'à la zone d'origine du tir (figure 33).

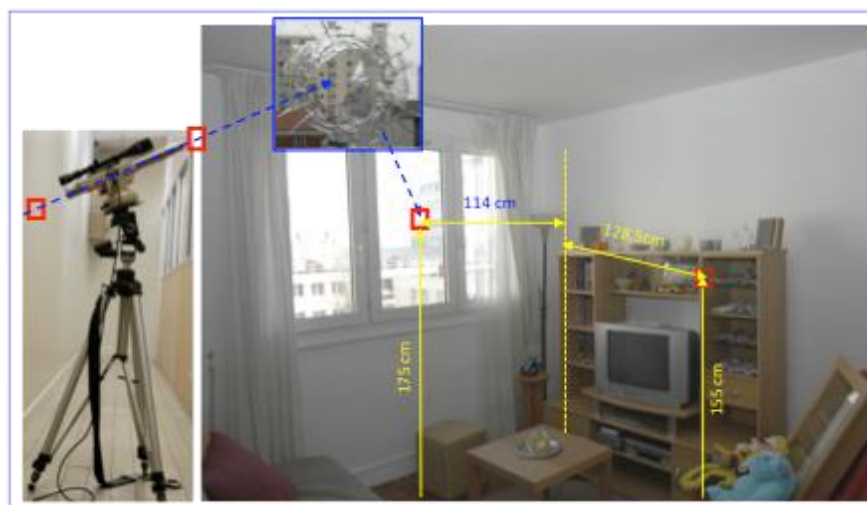


Figure 33 Détermination au laser d'une trajectoire de balle à partir d'un orifice d'entrée et d'un impact

8. Les résidus de tir

8.1. Origine et composition

Les résidus de tir sont les microparticules générées par tous les éléments mis en jeu lors du tir avec une arme à feu : produits de combustion et d'amorçage, douille et projectile.

Leur composition dépend de leur provenance :

- pour des munitions traditionnelles, les particules issues de l'amorce et de la balle sont métalliques et majoritairement constituées de plomb, baryum et antimoine,
- les particules produites par la combustion de la poudre contenue dans la douille sont organiques et essentiellement formées de composés nitrés,

Ces résidus de tir projetés en gerbe ou sous forme de nuage de type aérosol peuvent être mis en évidence sur les mains ou les vêtements d'une personne, permettant alors d'indiquer que celle-ci :

- a fait usage d'une arme à feu, sans qu'il soit possible de dater le tir,
- ou a été à proximité du tireur,
- ou a manipulé une arme, qui après le tir, est couverte de résidus de tir.

8.2. Détection

Il s'agit de caractériser des résidus de tir sur une personne suspectée d'être à l'origine d'un tir et non de les mettre en évidence sur la cible ou la victime. Plusieurs techniques d'analyse pouvant caractériser certains constituants des résidus de tir peuvent être mises en œuvre.

8.2.1. *Bref rappel historique*

Pendant longtemps le test à la paraffine, ou test de Gonzales a été utilisé. Il s'agit d'une méthode chromophorique basée sur une réaction colorée entre la diphénylamine et les dérivés nitrés. Ces derniers, non exclusifs des résidus de tir mais au contraire, d'une grande ubiquité, conférant au test un caractère peu discriminant, ont conduit à son abandon.

8.2.2. *Caractérisation par spectrométrie d'absorption atomique*

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est une technique d'analyse élémentaire. Elle permet d'identifier et de doser les éléments chimiques (plomb, baryum et antimoine) provenant de l'amorce de la munition. Plus précise que le test de Gonzales mais sans spécificité absolue, cette méthode ne peut distinguer les éléments traces provenant effectivement de résidus de tir de ceux issus de manipulations au cours d'activités professionnelles diverses dans les domaines de la mécanique, des bâtiments et travaux publics, de la chimie, etc. et qui contaminent leur environnement.

8.2.3. Caractérisation par microscopie électronique à balayage couplée à une microanalyse X

Désormais, la technique la plus appropriée pour la recherche des résidus de tir, est la microscopie électronique à balayage couplée à une microanalyse X à dispersion d'énergie (MEB-EDS), dont le principe est rappelé dans le chapitre XIII traitant de l'expertise en documents. Elle est non destructrice et permet de visualiser la morphologie des particules et de déterminer leur composition élémentaire. Les résidus de tir lors du processus de formation acquièrent une morphologie particulière. Ce sont des particules sphériques ou ovoïdes dont le diamètre est compris entre 0,5 et 5 microns (figure 34).

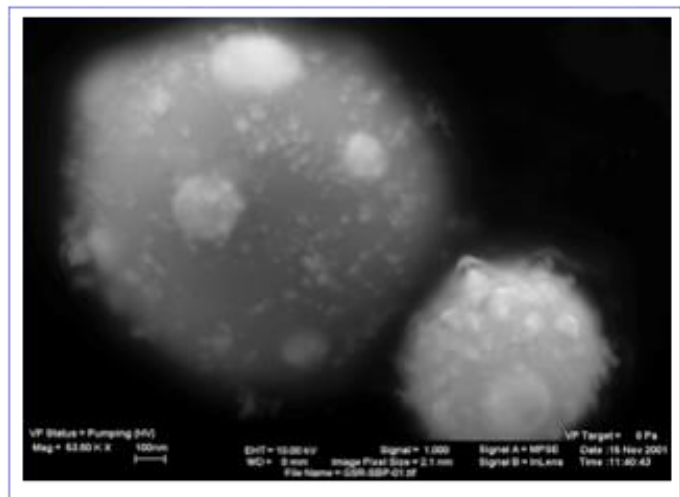


Figure 34 Particules sphériques de résidus de tir

Lorsqu'elles proviennent de munitions traditionnelles, les particules de résidus de tir s'identifient par la présence des éléments plomb, baryum et antimoine mais certaines munitions s'en différencient.

Les munitions dites « sans plomb » génèrent des résidus de tir exempts de ces trois éléments. Dans ce cas et selon la munition, les éléments à rechercher sont le titane, le zinc, le cuivre, l'étain, le strontium.

9. Conclusions

On attend de l'expert judiciaire en balistique, certes des connaissances techniques complètes et actualisées en permanence mais aussi l'objectivité toujours indispensable aux examens, constatations ou appréciations. De fait elle lui est d'autant plus nécessaire qu'une partie de ses critères d'analyse relève d'une appréciation qualitative comme cela a été développé à propos des comparaisons d'éléments de tir.

Afin d'offrir le maximum de garanties, au début des années 2000, la police scientifique française s'est engagée en balistique comme dans ses autres domaines d'activité, dans une démarche qualité fondée sur la norme européenne ISO/CEI 17025.

La vérification par un organisme indépendant, du respect de la norme, atteste de la maîtrise des processus, de la validité du système, des formations mises en place, de la traçabilité. Cette démarche d'optimisation de l'expertise des balisticiens français débouche sur l'accréditation des laboratoires, vivement encouragée par l'ENFSI, et renforce leur crédibilité internationale si essentielle dans le cadre judiciaire. Il faut en effet constater que les meilleures performances réalisées au cours d'un récent test circulaire international organisé par cet organisme et visant la comparaison d'éléments de tirs, l'ont été par des établissements accrédités.

10. Bibliographie

- 1) Caminade B. Courrier publié par la Manufacture française d'armes et cycles de Saint-Etienne. Pécari. Le Manufrance du collectionneur. Editions PE.CA.RI. 1995 ; tome I et II. ISBN : 2950725740
- 2) Décret n°95-589 du 6 mai 1995 relatif à l'application du décret du 18 avril 1939 fixant le régime des matériels de guerre, armes et munitions.
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000005618597>
- 3) Rapport de SMALL ARMS SURVEY de juillet 2007. Les armes et la ville.
<http://www.smallarmssurvey.org/publications/by-type/yearbook/small-arms-survey-2007.html>
- 4) La lettre d'information hebdomadaire de la préfecture de police ; (Panorama PPrama du 06/08/2008.

http://www.prefecturedepolice.interieur.gouv.fr/data/flippinBook/pprama/pprama_annee_2008/index.html

5) Lacassagne A. De la déformation des balles de revolver, soit dans l'arme soit sur le squelette. (Affaires Echallier et Mazuyer). Archives de l'anthropologie criminelle et des sciences pénales. Notes et observations médico-légales. 1889 ; 4 ; Page 70-79.

<https://criminocorpus.org/bibliotheque/livre/5/>

6) Balthazard V. Identification des douilles de pistolets automatiques. Notes et observations médico-légales. Archives d'anthropologie criminelle et de médecine légale. 1913 ; 28 ; 240 : 901-906.

https://criminocorpus.org/media/filer_public/2012/12/08/1913.pdf

7) De Rechter G. and Mage J. Communication sur l'identification des Douilles et des Projectiles tirés (Communication Upon the Identification of Fired Shells and Bullets). Annales de Médecine Légale. Paris, 1923 ; 28 (240) : 530-537.

<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k122547s/f667.image>

8) Locard E. Traité de Criminalistique - En 7 volumes. Les empreintes et les traces dans l'enquête criminelle - Les preuves de l'identité - L'expertise des documents écrits - Les correspondances... (1931-1940) d'Edmond LOCARD. Editions Joanès DES-VIGNE®.

9) BIASOTTI AA. A Statistical Study of the Individual Characteristics of Fired Bullets. Journal of Forensic Sciences, 1959 ; 4 (1) :34-50.

Chapitre 13. Expertise en documents

M. Ley

1. Introduction

Dans le domaine de l'expertise judiciaire, le terme de « document » s'applique à tout support renseigné et dont les informations sont directement accessibles au lecteur.

A l'heure actuelle, pour les actes de la vie courante, le support utilisé de façon très majoritaire, est le papier.

Cependant, les matériaux synthétiques ont fait leur apparition dans la fabrication des documents sécurisés que sont les documents administratifs et fiduciaires. Ces nouveaux matériaux permettent d'élargir la gamme des protections mises en place sur les documents que ce soit au niveau de leur fabrication, de leur impression ou de leur personnalisation.

Pour le faussaire, cette diversification se traduit par la nécessité d'adapter ses techniques de falsification et de contrefaçon.

Pour l'expert, il s'agit toujours de procéder à l'authentification du document qui lui est soumis mais en employant des méthodes d'examen et d'analyse qui évoluent parallèlement aux techniques de fabrication [1 ; 2 ; 3 ; 4].

2. Authentification

L'expertise d'un document a pour finalité de déterminer s'il s'agit d'une pièce authentique, contrefaite ou falsifiée et le cas échéant, de décrire le mode de contrefaçon ou de falsification et éventuellement établir des communautés d'origine.

2.1. La contrefaçon

C'est la fabrication par imitation d'un document existant. Le but du contrefacteur étant de donner le change lors de contrôles éventuels, il va s'attacher à reproduire le plus fidèlement possible les caractéristiques du document qu'il imite. Cependant dans la mesure où il ne dispose pas de la technicité et des matériaux nécessaires à la fabrication de documents sécurisés, la contrefaçon présentera toujours des différences par rapport au document authentique. Ces différences seront plus ou moins faciles à déceler selon la qualité du document contrefait.

2.2. La falsification

Il s'agit de la modification des indications figurant sur un document authentique, les falsifications les plus fréquemment rencontrées étant la substitution de la photographie du titulaire et la modification des mentions relatives à son identité.

2.3. L'obtention indue

Il s'agit de l'obtention d'un document authentique par l'usage de moyens frauduleux que sont les déclarations mensongères, la présentation de justificatifs ne possédant pas de protection ou étant eux-mêmes des contrefaçons.

2.4. Les documents fantaisistes

Ce sont des documents imaginaires n'ayant pas d'existence légale mais dont l'apparence peut donner l'illusion de documents authentiques.

3. Les documents sécurisés

Le document sécurisé est un support renseigné qui sert de titre ou de preuve et qui comporte des éléments de sécurité spécifiques destinés à faciliter son contrôle et à lutter contre la contrefaçon. Il s'agit principalement de documents administratifs (documents d'identité et de voyage, certificats d'immatriculation, ...) et fiduciaires ou para-fiduciaires (billets de banque, chèques, ...) (figure 1).

Les éléments de sécurité destinés à protéger le document sont mis en place à tous les niveaux de sa fabrication : dans le support, lors de l'impression, de l'apposition des protections rapportées et enfin au moment de la personnalisation.



Figure 1 documents sécurisés

3.1. Le support

Le papier est encore le support le plus répandu, il offre une authentification aisée et une bonne protection. Les papiers de sécurité se distinguent des papiers disponibles dans le commerce. Leurs matières premières sont sélectionnées et ils sont, en général dépourvus d'azurant optique¹ et donc non fluorescents sous radiations ultraviolettes.

Outre l'absence de fluorescence, un papier de sécurité comporte des éléments d'authentification incorporés lors de sa fabrication parmi lesquels figurent le filigrane, les fils de sécurité, les fibres colorées ou fluorescentes, les planchettes, le couchage iridescent².

¹ Un agent azurant est une molécule qui absorbe les rayons UV entre 300 et 400 nm en réémettant une lumière fluorescente dans le visible entre 400 et 500 nm

² Le couchage iridescent est un motif déposé sur la surface du papier dont la couleur change suivant l'angle d'inclinaison du support (goniochromisme) en faisant apparaître les couleurs de l'arc-en-ciel.

3.1.1. Le filigrane

C'est une marque obtenue dans la pâte à papier et correspondant à des variations d'épaisseur. Il est visible par transparence lorsque le document est éclairé en lumière transmise (figures 2 et 3).



Figure 2 Exemple de filigrane de forme plate



Figure 3 Exemple de filigrane de forme ronde

Il existe deux sortes de filigrane qui se différencient par leur aspect et dont l'appellation résulte du mode d'obtention :

- les filigranes de table plate qui sont les plus faciles à réaliser et qui apparaissent clairs ou sombres en lumière transmise ;
- les filigranes de forme ronde qui sont plus complexes puisqu'ils permettent d'obtenir une image tridimensionnelle avec des dégradés de blanc et de noir.

3.1.2. Les fils de sécurité

Il s'agit de fils, métalliques ou synthétiques, qui sont inclus dans le papier lors de sa fabrication. Comme le filigrane, ils sont détectables par observation en lumière transmise. De plus, ils peuvent être fluorescents et décelables sous radiations ultraviolettes ou micro imprimés et être lus sous grossissement.

3.1.3. Les fibres colorées ou fluorescentes



Figure 4

Détails de fibres métalliques (à gauche), colorées synthétiques (au centre) et fluorescentes (à droite)

Incluses dans le papier lors de sa fabrication, elles offrent une grande diversité de matières (naturelles, synthétiques, métalliques) mais aussi de couleurs et de dimensions. Elles peuvent être disposées en semis ou orientées. Elles sont observables à l'œil nu ou sous grossissement pour les fibres colorées et sous radiations ultraviolettes pour celles qui sont fluorescentes (figure 4).

3.1.4. Les planchettes³

Comme les fibres, elles sont incorporées dans le papier lors de sa fabrication avec une répartition aléatoire ou orientée. De forme variable, ronde ou hexagonale par exemple, elles peuvent être colorées, fluorescentes ou iridescentes (figure 5).

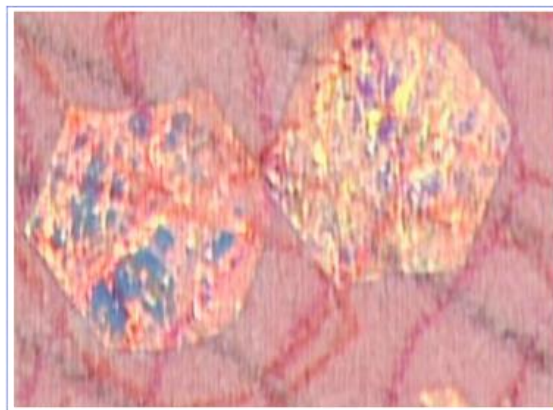


Figure 5 Planchettes iridescentes

3.2. L'impression

C'est la deuxième étape de la fabrication d'un document. Elle consiste à imprimer sur le support, les fonds de sécurité et les mentions fixes telles que l'intitulé des rubriques par exemple. En règle générale, elle fait intervenir une ou plusieurs techniques d'imprimerie utilisées simultanément ainsi que des encres spécifiques.

3.2.1. Les techniques d'imprimerie

Elles peuvent être classées en 3 grandes familles en fonction de la forme imprimante employée qui peut être en relief, en creux ou plate.

3.2.1.1. Les formes imprimantes en relief

C'est le principe de la **typographie** qui a été la première technique à permettre l'impression en série. Il s'agit d'un procédé d'impression directe utilisant une forme imprimante confectionnée dans un matériau dur, qui est en relief et à l'envers. Seule la partie en relief du caractère est encrée et vient fouler le papier pour obtenir une impression (figure 6).



Figure 6 Détails d'impressions en typographie

La **flexographie** utilise elle aussi des formes en relief mais en matériau souple. Ces formes imprimantes élastiques sont utilisées avec une encre plus liquide que celle de la typographie qui elle, est grasse (figure 7).

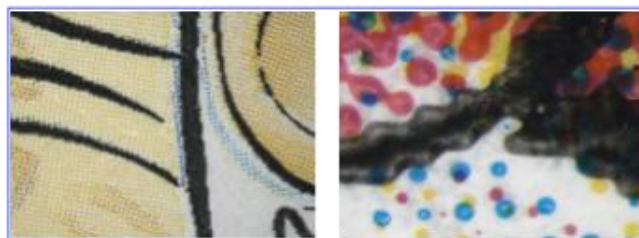


Figure 7 Détails d'impressions en flexographie

3.2.1.2. Les formes imprimantes en creux

Les éléments à imprimer sont gravés à l'envers, à la surface d'une plaque métallique (figure 8).

La plaque est encrée puis essuyée de façon à éliminer le surplus d'encre de sa surface. Elle est ensuite pressée sur le papier à la surface duquel se dépose l'encre qui subsistait dans la gravure.

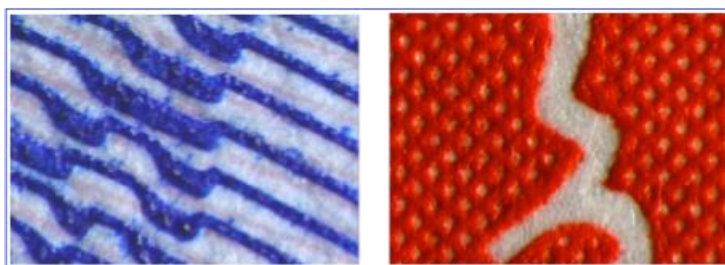


Figure 8 Détails d'impression en taille douce (à gauche), en héliogravure (à droite).

Si la gravure de la plaque est manuelle, on parle de **taille-douce**, si elle est chimique, on parle **d'eau-forte**.

³ Une planchette est un disque fluorescent de petite taille intégré dans la feuille de papier et visible sous lampe UV.

L'héliogravure est l'application de ces procédés. Elle emploie également des formes en creux mais il s'agit d'un cylindre gravé par voie photographique et non une plaque gravée artisanalement.

3.2.1.3. Les formes imprimantes plates

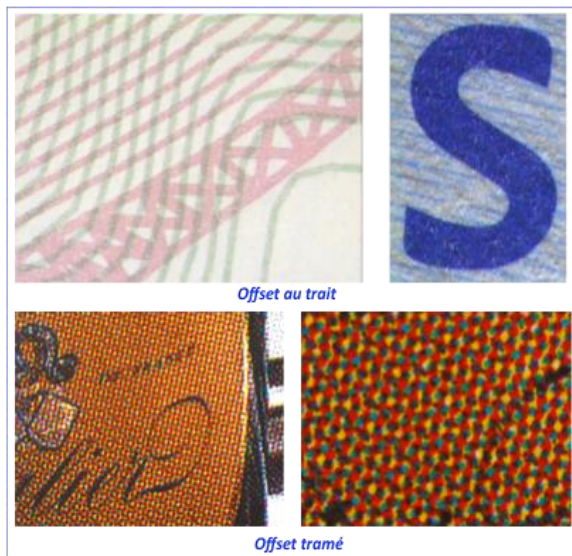


Figure 9 Détails d'impression en offset

C'est la technique de la *lithographie* basée sur le principe de la répulsion entre une encre grasse et un support hydrophile. Le dessin à imprimer est tracé avec une encre grasse sur une pierre calcaire qui est ensuite humidifiée. L'eau n'ayant pas d'affinité avec l'encre, elle ne recouvre pas le dessin. Lors de l'encre, c'est le phénomène inverse qui se produit : l'encre grasse va seulement se fixer sur le dessin qui pourra ainsi être transféré sur une feuille de papier.

L'application de ce principe à l'imprimerie a donné naissance à la technique de *l'offset* qui est un procédé d'impression indirect dans lequel on utilise un support intermédiaire pour reporter l'image à imprimer. Ce support est généralement un blanchet⁴ en caoutchouc.

L'offset au trait est employé pour l'impression des aplats⁵. L'offset tramé est utilisé pour obtenir des dégradés (figure 9).

La sérigraphie

Cette technique d'impression directe dérive du principe du pochoir. La forme imprimante est un écran de tissu dont les zones ne correspondant pas au dessin à reproduire ont été rendues opaques. Ainsi la reproduction du dessin est obtenue car l'encre projetée au travers de l'écran ne traverse le tissu que sur les parties restées poreuses (figure 10).

3.2.2. Les encres

Les encres de sécurité sont des encres dont le comportement varie selon les conditions d'observation telles que les encres visibles ou invisibles (en lumière blanche) fluorescentes sous radiations ultraviolettes, les encres dichroïques (dont la couleur varie avec l'angle d'observation) (figure 11).

Elles peuvent aussi avoir des propriétés particulières comme les encres magnétiques ou les encres solubles qui sont détruites sous l'action de solvants.

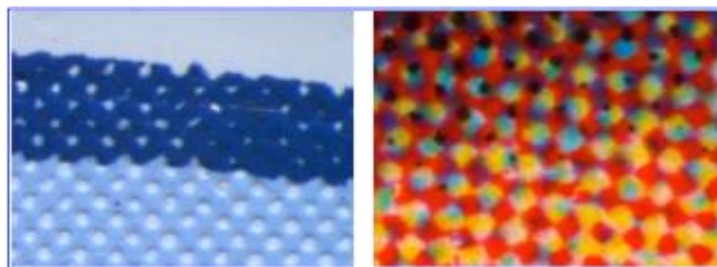


Figure 10 Détails d'impressions en sérigraphie

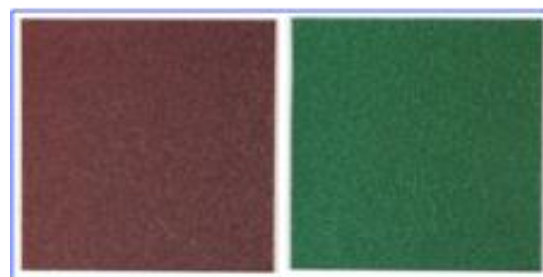


Figure 11 Exemple de changement de couleur d'une encre dichroïque avec l'angle d'observation

⁴ Un Blanchet est une feuille de caoutchouc appliquée sur le cylindre de transfert entre la plaque et le papier lors de l'impression offset. Il est situé entre le cylindre porte plaque dont il reçoit l'encre et le papier sur lequel il la transfère.

⁵ Surface plane sans crispures, plis ou autre défaut. Aplat se dit aussi de l'application d'une seule couleur uniforme sur une surface.

3.2.3. Le couchage iridescent

C'est une sécurité à variation optique. Il s'agit d'un aplat contenant des pigments changeant de couleur avec l'incidence d'observation. Cet aplat peut être apposé à la surface du papier par sérigraphie ou héliogravure (figure 12).



Figure 12 Détail d'une carte nationale d'identité française

3.3. Les protections rapportées

Il s'agit des films de protection ou laminats, et des marques optiques (hologrammes et kinégrammes ®).

Comme leur nom l'indique, les films de protection sont destinés à protéger le document et empêcher sa falsification. Ils sont donc apposés après sa personnalisation. Ils peuvent recouvrir le document dans sa totalité comme sur la carte nationale d'identité française ou seulement les zones correspondant à l'état civil du titulaire comme sur le passeport ou le permis de conduire français.

Les marques optiques variables sont des images en trois dimensions (hologrammes) ou à effet de mouvement (kinégrammes ®). Elles peuvent être apposées sur le document au cours de sa fabrication ou après sa personnalisation si elles sont intégrées à un film de protection par exemple. Elles sont difficiles à contrefaire en raison de la complexité de leur technique de fabrication www.consilium.europa.eu/prado/FR/1244/vie-wimage_26924.html.

Les éléments d'attribution



Figure 13 Détails d'une marque optique variable

Ils peuvent être considérés comme les précurseurs des protections rapportées puisqu'il s'agit des marquages mis en place par l'administration au moment de la délivrance du document pour faciliter son authentification.

Ce sont par exemple, les œillets qui maintiennent la photographie du titulaire, les cachets secs et/ou humides de l'autorité émettrice, les timbres fiscaux (figure 13).

La numérotation du document fait également partie des éléments d'attribution, elle peut être constituée de caractères imprimés ou obtenue par perforation du support (figures 14 et 15).

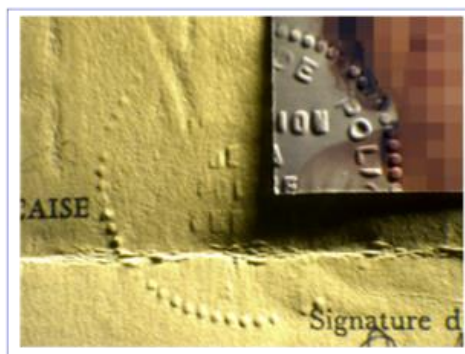


Figure 14 Cachet sec apposé à cheval sur la photographie du titulaire et le support du document

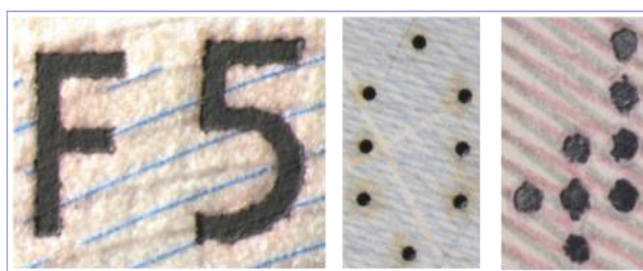


Figure 15 Détails de numérotations par typographie (à gauche), par perforation laser (au centre) et par perforation à aiguilles (à droite)

3.4. La personnalisation

La personnalisation est la dernière étape de la fabrication d'un document. Il s'agit de l'apposition des caractères alphanumériques qui constituent les mentions variables.

La sécurisation des mentions variables repose sur le principe que leur mode de confection doit être spécifique et donc ne doit pas être à la portée de tout un chacun.

Plusieurs niveaux de sécurisation peuvent être envisagés :

- au niveau de la police de caractères : l'utilisation de caractères alphanumériques au graphisme particulier,
- au niveau des matériaux : l'emploi d'encres ayant des propriétés chimiques et/ou spectrales spécifiques,
- au niveau de la technologie d'apposition : l'utilisation d'un procédé exclusif.

4. Techniques mises en œuvre

L'étude des documents nécessite la mise en œuvre de certaines techniques d'observation et d'analyse. Les méthodes d'investigation ne portant pas atteinte à l'intégrité du document sont toujours privilégiées par rapport à celles qui nécessitent le prélèvement d'échantillon.

4.1. Les techniques d'observation

Les méthodes non destructrices sont essentiellement des techniques d'observation.

4.1.1. Observation sous grossissement

L'observation sous grossissement se fait avec un microscope stéréoscopique, ou loupe binoculaire, qui grossit de 6 à 50 fois.

Le microscope stéréoscopique est un outil précieux dans l'étude des documents car l'observation du support d'un document, de son impression et des différents éléments pouvant y figurer permet très souvent de mettre en évidence des caractéristiques invisibles à l'œil nu.

Le grossissement permet d'apprécier une granulométrie, l'irrégularité d'un trait, un relief grâce à une grande profondeur de champ et une vision stéréoscopique.

Plusieurs techniques d'éclairage sont utilisées avec la loupe binoculaire selon le résultat recherché.

L'éclairage en lumière réfléchie est employé pour l'observation d'un élément qui n'est pas lié à l'état de surface du document.

L'éclairage rasant (aussi appelé éclairage frisant ou tangentiel) permet de visualiser l'aspect de surface du support.

Le troisième type d'éclairage est l'éclairage en lumière transmise.

L'observation d'un document sous grossissement permet de contrôler les sécurités basées sur un effet de relief ou qui sont indécélables si elles ne sont pas amplifiées (figure 16).



Figure 16 Faux filigranes : L'observation sous grossissement, en lumières transmise (1) et en lumière rasante (2), permet de déceler les faux filigranes et déterminer leur mode de fabrication.

4.1.2. Observation spectrale

Pour une meilleure compréhension, il est bon de rappeler que la lumière du jour ou lumière blanche est constituée de trois sortes de rayonnements ou ondes électromagnétiques :

- une partie du rayonnement ultraviolet,
- la partie visible par l'œil humain,
- une partie du rayonnement infrarouge.

La lumière blanche ne représente qu'une petite partie de la totalité du spectre qui est composé :

- vers les basses longueurs d'onde, des rayons cosmiques, des rayons gamma, des rayons X, dont les longueurs d'onde vont de l'Angström (10^{-10} m) au nanomètre,
- vers les grandes longueurs d'onde, des micro-ondes, des ondes radio, des grandes ondes, dont les longueurs d'onde vont du centimètre au kilomètre.

Plus précisément, on parle :

- d'ultraviolet pour le domaine de longueurs d'onde entre 100 et 350 nanomètres,
- de visible (violet, bleu, vert, jaune, orangé, rouge) pour les longueurs d'onde entre 350 et 800 nanomètres,
- d'infrarouge pour les longueurs d'onde entre 0,8 et 300 microns.

L'observation spectrale a pour but, en sélectionnant par divers procédés (sources, filtres) des plages de longueurs d'onde situées dans le proche ultraviolet, le visible et le proche infrarouge (jusqu'à 1000 nanomètres), d'obtenir des informations inaccessibles pour l'œil humain. Elle est donc indispensable pour procéder à l'expertise des documents sécurisés (figure 17).

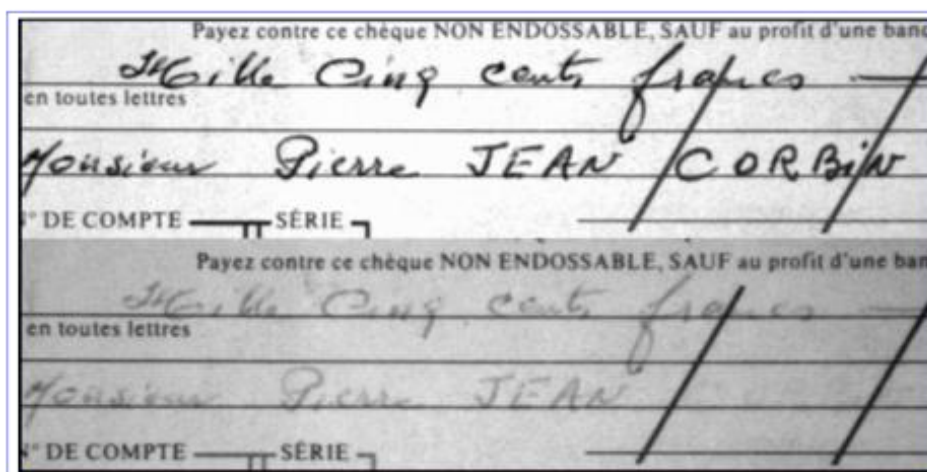


Figure 17 Mise en évidence d'un ajout par observation spectrale

4.2. Les techniques d'analyses

Ce sont des techniques d'analyses physico-chimiques qui sont mises en œuvre lorsque les méthodes d'observation ne suffisent pas à conclure sur l'authenticité d'un document ou à établir des communautés d'origine entre des documents contrefaits ou falsifiés par exemple.

Elles peuvent également être sollicitées lorsqu'il faut déterminer quelles sont les techniques qui ont été employées pour contrefaire ou falsifier un document.

4.2.1. La chromatographie sur couche mince

La chromatographie sur couche mince (CCM) est une technique de séparation qui permet par exemple, de séparer les constituants d'une encre (figure 18).

La substance à analyser est mise en solution et déposée sur une plaque de silice.

La plaque portant les dépôts est placée dans une cuve à développement contenant un éluant (solvant ou mélange de solvants).

L'éluant qui constitue la phase mobile va migrer sur la phase sèche, la silice et va entraîner à des vitesses différentes les constituants à séparer.

Chaque constituant sera représenté par un spot.

Quand le front de solvant a parcouru une distance considérée comme suffisante, la plaque est retirée de la cuve et mise à sécher (évaporation de la phase mobile).

L'étude de la plaque consiste à déterminer le profil chromatographique c'est-à-dire le nombre et la couleur des spots obtenus à partir de chaque dépôt, et à calculer les Rf (rapport entre la distance parcourue par le constituant et la distance parcourue par le front de solvant). Elle peut être complétée par son observation sous radiations ultraviolettes voire par l'extraction des taches et leur analyse chimique plus fine.

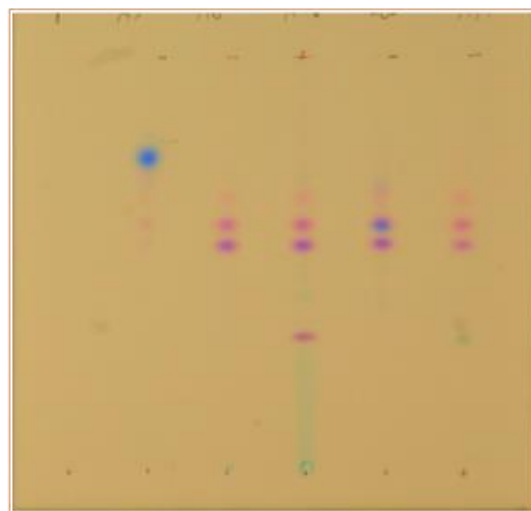


Figure 18 Exemple de plaque chromatographique obtenue avec des encres bleues de stylos à pointe bille

4.2.2. La spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier

Comme toutes les méthodes de spectrométrie, la spectrométrie infrarouge est basée sur le fait que l'énergie des ondes électromagnétiques peut être absorbée par la matière. Il s'agit de l'un des outils les plus utilisés pour la caractérisation des molécules organiques. Elle permet d'identifier les groupes fonctionnels présents dans les molécules.

Les radiations infrarouges correspondent à l'énergie de vibration moléculaire, elles ont un nombre d'onde (inverse de la longueur d'onde) compris entre 4000 et 400 cm^{-1} .

L'absorption de l'échantillon, qui varie en fonction de la longueur d'onde des radiations émises par la source, est présentée sur le spectre infrarouge. Ce dernier est parfois qualifié d'empreinte digitale d'un composé tant il en est caractéristique.

La spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IRTf), offre par rapport à la spectrométrie infrarouge de type dispersif, une grande précision sur les longueurs d'onde, une meilleure résolution et un meilleur rapport signal/bruit de fond grâce à l'accumulation de signaux de balayage. Elle permet la comparaison des spectres obtenus et l'analyse de microéchantillons. Dans le domaine des documents, elle est utilisée pour la caractérisation de toners (encres en poudre des copieurs), de fibres, d'adhésifs, de polymères, etc [5].

Afin de déterminer si un courrier anonyme (document de question) a été confectionné sur un copieur d'origine connue, il suffit de réaliser une photocopie avec ce dernier (document de comparaison) et procéder à l'analyse de leur toner en IRTF (figure 19).

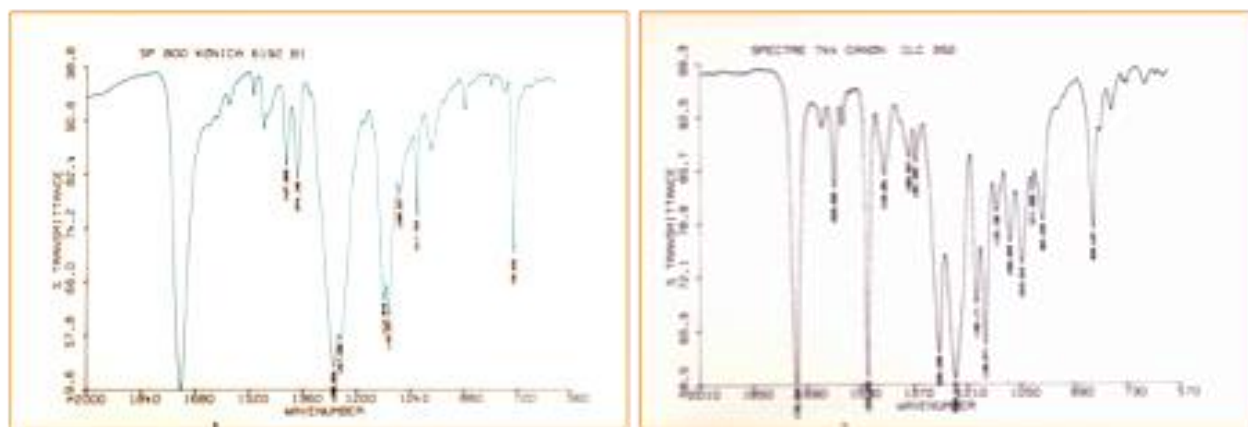


Figure 19

Spectres infrarouges des toners du document de question (à gauche) et du document de comparaison (à droite)

Dans l'exemple illustré ici, les deux spectres sont différents. Ce n'est donc pas le copieur de comparaison qui a été employé pour obtenir le courrier anonyme.

4.2.3. La microscopie électronique à balayage

Le microscope électronique à balayage est un appareil qui permet l'observation des détails les plus fins d'un échantillon.

Un faisceau d'électrons, de section ultramicroscopique avec un diamètre de 10^{-2} micromètres, utilisé pour obtenir les images, balaye l'échantillon et explore point par point sa surface.

L'interaction entre le faisceau d'électrons et l'échantillon engendre de nombreux phénomènes physiques parmi lesquels l'émission d'électrons rétrodiffusés dont l'énergie est comparable à celle des électrons incidents et d'électrons secondaires, de plus faible énergie, qui sont arrachés à la matière par les électrons incidents ou rétrodiffusés.

Le recueil par les détecteurs, des électrons secondaires et rétrodiffusés permet d'obtenir une image point par point du relief de l'échantillon.

Couplée à un analyseur de rayonnements X par Dispersion d'Énergie, la microscopie électronique à balayage (MEB)⁶ permet de réaliser des analyses chimiques élémentaires de l'échantillon et éventuellement des cartographies signalant la position des éléments chimiques.

Elle peut être utilisée pour l'analyse des toners, des encres, des polymères, etc.

4.2.4. La spectrométrie Raman

Il s'agit d'une méthode non destructrice qui permet de caractériser la composition moléculaire et la structure d'un matériau par l'étude de ses modes vibrationnels.

Elle consiste à focaliser un faisceau de lumière monochromatique (faisceau laser) sur l'échantillon et à analyser la lumière diffusée. Elle est fondée sur l'effet Raman, c'est-à-dire qu'un matériau peut diffuser de la lumière en modifiant légèrement la fréquence du faisceau incident. Plusieurs cas sont possibles :

⁶ Pour en savoir plus sur la MEB dans les techniques expérimentales consulter la référence (7)

- si la lumière diffusée a une plus grande longueur d'onde, et donc une énergie plus faible, que la lumière incidente (lumière décalée vers le rouge) : on parle de diffusion Stokes,
- si la lumière diffusée a une longueur d'onde plus courte, et donc une plus forte énergie que la lumière incidente (lumière décalée vers le bleu) : on parle de diffusion anti-stokes,
- s'il n'y a pas d'échange d'énergie entre la lumière incidente et le matériau analysé, il n'y a pas de décalage de longueur d'onde entre les photons incidents et les photons diffusés : on parle alors de diffusion Rayleigh.

Comme la spectrométrie infrarouge dont elle est complémentaire, elle est utilisée dans le domaine des documents, pour la caractérisation de toners, de fibres, d'adhésifs, de polymères, etc.

Outre qu'il s'agit d'une technique d'analyse non destructrice, la spectrométrie Raman présente l'avantage de pouvoir travailler sur des échantillons de faibles dimensions [5 ; 6].

5. Modus operandi

On distingue trois niveaux dans l'examen d'un document :

- le premier niveau est le plus simple à mettre en œuvre puisqu'il ne nécessite pas d'outil particulier (observation en lumière réfléchie ou en lumière transmise),
- le deuxième niveau nécessite l'utilisation de petit matériel tel qu'une loupe ou une lampe à ultraviolets de poche,
- le troisième niveau ne peut se faire qu'en laboratoire car il fait intervenir un appareillage plus sophistiqué tel que celui qui permet de caractériser le comportement spectral des encres par exemple.

A ces trois niveaux peut s'en ajouter un quatrième s'il est nécessaire de procéder à des analyses physico-chimiques pour déterminer le caractère authentique, contrefait ou falsifié du document soumis à examen.

5.1. Recherche de contrefaçon

5.1.1. Documents sécurisés

Pour affirmer qu'un document sécurisé est contrefait, il faut montrer qu'il ne comporte pas toutes les protections mises en place sur un document authentique. Il faut donc procéder à un examen comparatif à partir de spécimens ou de bases de données. Après avoir caractérisé les sécurités contenues dans un spécimen authentique, il faut rechercher si celles-ci sont présentes dans le document examiné. L'examen portera donc successivement sur tous les éléments constitutifs du document.

5.1.1.1. Le support

De manière générale, le faussaire ne fabrique pas son papier. Il utilise les papiers disponibles dans le commerce sur lesquels il va s'efforcer de reproduire avec les moyens techniques dont il dispose les sécurités présentes dans le papier.

La première vérification du support consiste à examiner le document en lumière transmise afin de mettre en évidence le filigrane et le fil de sécurité, et de préciser s'ils sont authentiques ou contrefaits.

L'étape suivante consiste à observer le document sous radiations ultraviolettes pour savoir s'il est fluorescent ou non. Ces conditions d'observation permettent également de vérifier la présence de fibres ou planchettes fluorescentes, visibles ou invisibles en lumière blanche.

5.1.1.2. Les impressions

Pour reproduire un document, le faussaire peut avoir recours à des techniques d'imprimerie classique (le plus souvent l'offset et la typographie) ou bien aux moyens d'impression offerts par la bureautique (imprimantes laser ou jet d'encre).

5.1.1.3. Les protections rapportées et les éléments d'attribution

Le contrefacteur va tenter d'imiter le mieux possible les attributs d'un document authentique. Selon la sophistication de ces derniers, il les fabriquera lui-même, ce qui est souvent le cas par exemple pour la reproduction des cachets de l'autorité, ou il les récupèrera sur un document authentique comme pour les hologrammes et les kinégrammes® (figures 20 ; 21 et 22).

5.1.1.4. Reconnaissance de la contrefaçon

Aucune des caractéristiques spécifiques du document ne sera reproduite sur la contrefaçon. Le faussaire va essayer de donner le change en imitant les éléments de protection qu'il aura repérés.

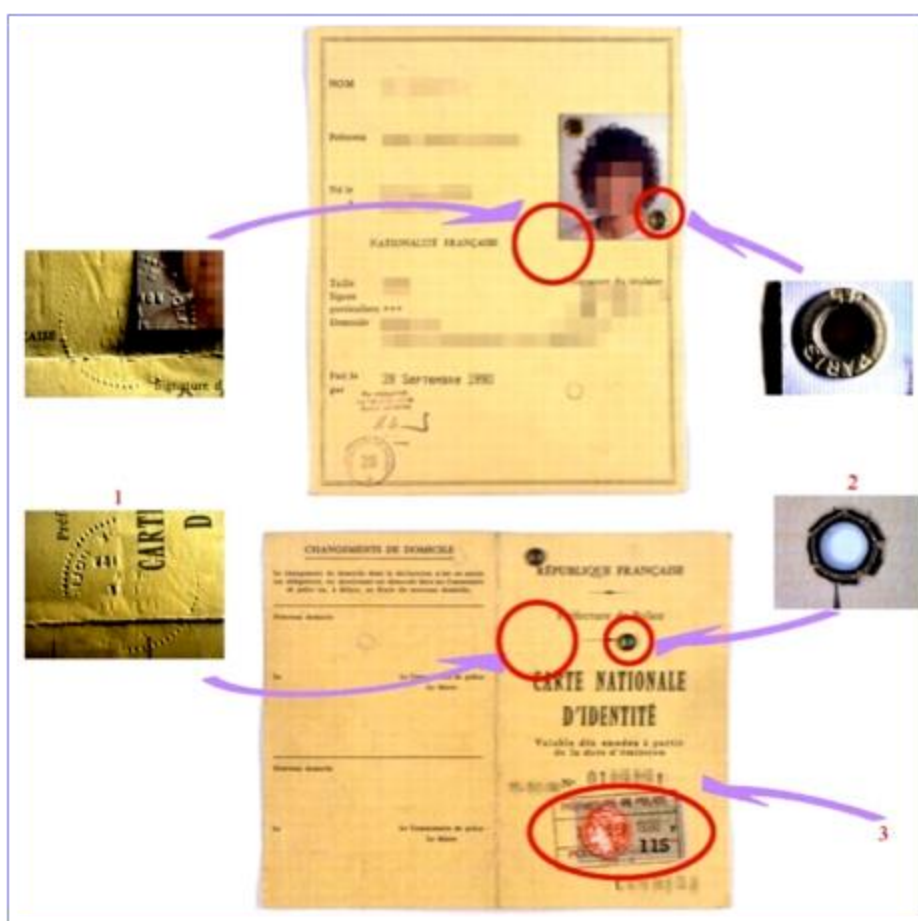


Figure 20 Les sécurités présentes sur une carte nationale d'identité française (ancien modèle), en lumière directe (1 : Cachet sec (circulaire, en relief) ; 2 : œillets ; 3 : Timbre fiscal.

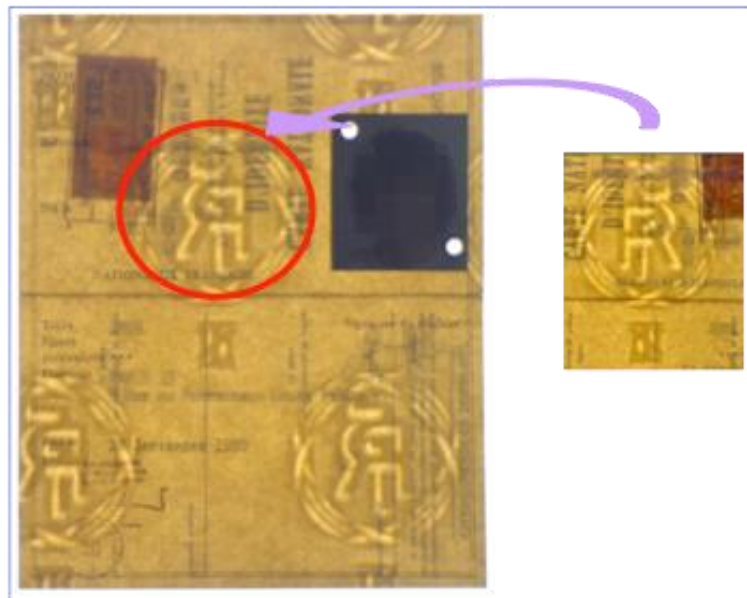


Figure 21 Les sécurités présentes sur une carte nationale d'identité française (ancien modèle), en lumière transmise (4) : Filigrane.

Par exemple, il reproduira un fil de sécurité par une impression superficielle. Il pourra reproduire les fibres visibles en lumière blanche par une impression de couleur correspondante mais il ne pourra pas obtenir un effet de fluorescence ou un changement de couleur.

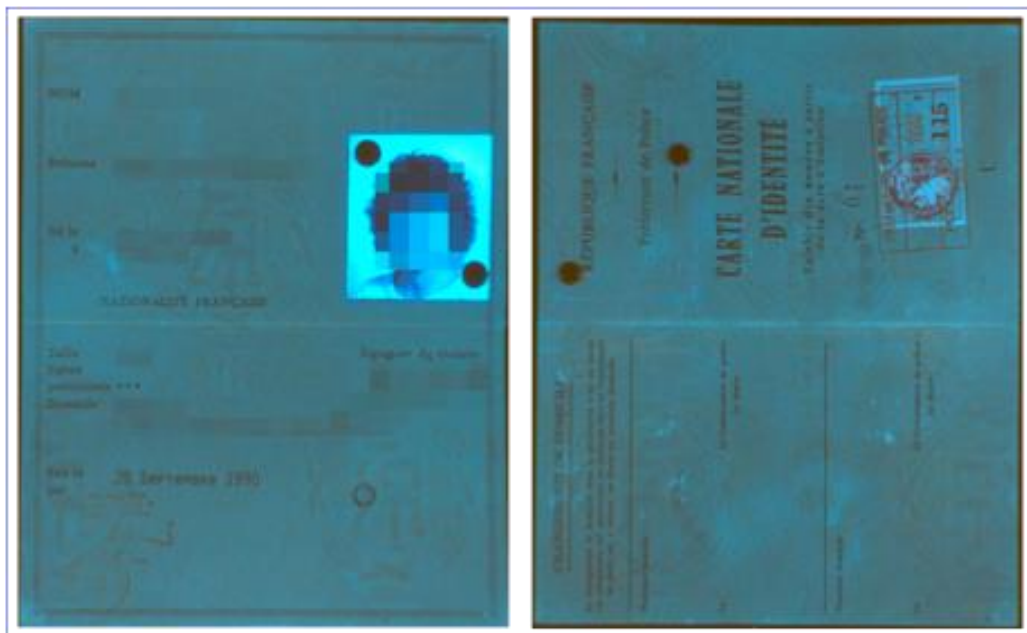


Figure 22 Les sécurités présentes sur une carte nationale d'identité française (ancien modèle), sous radiations ultraviolettes. Support neutre (non fluorescent) de la carte et du timbre fiscal.

Outre l'absence des éléments de protection et l'utilisation de techniques d'impression différentes, le document contrefait va avoir des particularités qui lui sont propres. Il s'agira le plus souvent d'imperfections de l'impression.

Ces particularités sont très importantes car leur présence peut permettre d'établir des communautés d'origine entre plusieurs documents.

L'établissement de corrélations peut se faire entre des documents de même nature mais également entre des documents différents à partir de défauts présents sur des éléments qu'ils ont en commun (filigrane, cachet de l'autorité ...).

5.1.1.5. Contrefaçon d'une carte de résident française

Parfois les contrefacteurs font preuve d'approximation dans leur "production" comme l'illustre l'exemple ci-dessous (figure 23).

L'examen en lumière transmise de la carte de résident incriminée (document de question) révèle que son faux filigrane est fantaisiste. Il correspond à la reproduction d'un cachet humide (Marianne) et non à celle d'un filigrane authentique (lettres « RF » dans un double cercle).

5.1.2. Autres documents administratifs

Si le même protocole que celui des documents sécurisés s'applique aux documents administratifs non protégés, à savoir la comparaison avec un document de même nature authentique, il est nécessaire pour procéder à cette comparaison, de disposer d'un spécimen contemporain du document incriminé et de même origine que ce dernier.



Figure 23 Contrefaçon d'une carte de résident française

En effet pour ce type de documents, il n'existe pas de bases de données et bien souvent il n'y a pas de standardisation au niveau de la fabrication et de la délivrance (figure 24).

5.2. Recherche de falsification

5.2.1. Les mentions variables

La falsification des mentions variables procède en deux étapes. La première étape consiste à éliminer les mentions originelles authentiques pour les remplacer par d'autres dans la seconde étape.

Trois procédés peuvent être employés pour éliminer les mentions authentiques. Il s'agit du gommage, du grattage et du lavage.

5.2.1.1. Le gommage

Il a pour résultat d'arracher superficiellement les particules d'encre déposées sur le papier.

L'observation en lumière rasante sous grossissement au microscope stéréoscopique des zones gommées révèle un soulèvement des fibres de papier.

5.2.1.2. Le grattage

Il s'apparente au gommage mais il est réalisé avec des instruments tranchants et acérés qui altèrent plus profondément et de façon irréversible le document.

La zone de grattage peut être localisée, par observation en lumière transmise pour déceler une diminution éventuelle de l'épaisseur du papier ou par examen en lumière rasante sous grossissement au microscope stéréoscopique pour mettre en évidence l'altération des fibres du papier (figure 25).

5.2.1.3. Le lavage

Avec le lavage, l'attaque n'est plus mécanique mais chimique. Cette méthode permet de faire disparaître l'encre sans déplacer les fibres du papier. De nombreux produits chimiques que l'on peut réunir sous le terme « d'agents lavants » peuvent être employés. Ils peuvent avoir une origine minérale (oxydants, produits chlorés) ou organique (solvants). Dans certains cas, les zones lavées peuvent être repérées sous radiations ultraviolettes par la mise en évidence d'un phénomène de fluorescence.

5.2.2. La photographie du titulaire

C'est l'examen des éléments rapportés qui y figurent, qui permet la mise en évidence d'une falsification par substitution de photographie. Les éléments rapportés les plus couramment rencontrés sont :

- les œillets de fixation,
- les cachets humides,
- les cachets secs,
- les films de protection.

5.2.2.1. Les œillets

Ils sont destinés à fixer la photographie. Ils peuvent être gravés ou non.



Figure 24 Autres documents administratifs

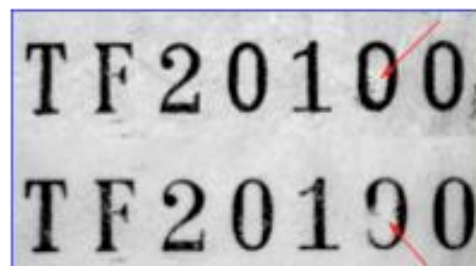


Figure 25 Falsification par grattage et surcharge

Même s'ils ne montrent aucune spécificité, les rivets doivent être examinés de façon systématique aux fins de recherche d'éléments dénonçant la substitution de la photographie.

L'observation sous grossissement en lumière rasante permet la mise en évidence de traces d'outil (sur leur surface même ou sur le support papier qui les entoure) ou d'altérations anormales du support papier (déchirures, perforations trop grandes) (figure 26).

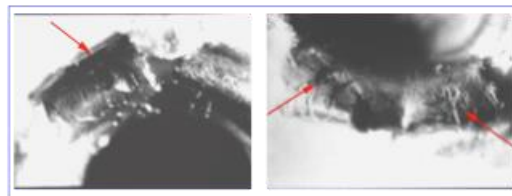


Figure 26 Détails de traces d'outil sur des œillets

Si elles existent, l'examen des empreintes qu'ils ont laissées dans le support papier peut également fournir des indications intéressantes en cas de non correspondance entre la couleur de leur oxydation éventuelle et la nature du métal des œillets ou bien si elles ne se superposent pas avec ces derniers.

5.2.2.2. Les cachets humides

Il s'agit de cachets encrés qui authentifient l'autorité, ou le service, de délivrance et qui sont apposés à cheval sur la photographie et le support du document.

Pour affirmer que la photographie du titulaire a été changée, il faut pouvoir mettre en évidence des divergences entre la partie du cachet humide visible sur la photographie et celle qui est présente sur le support du document lui-même. Il peut s'agir de désalignement, d'anomalies sur les caractères ou de l'utilisation d'encre différentes (figure 27).



Figure 27 Interruption de caractère

5.2.2.3. Les cachets secs

Comme les cachets humides, ils constituent un élément d'authentification du service émetteur du document. Ils sont apposés à cheval sur la photographie et le support du document.

Ils ne sont pas encrés mais ils déforment le support papier en créant un relief.

La mise en évidence de la substitution de la photographie pourra être fondée sur :

- la non correspondance entre la partie du cachet sec visible sur la photographie et celle visible, au dos de cette dernière, sur le support papier ;
- un désalignement entre la partie du cachet sec visible sur la photographie et celle qui la continue sur le support papier (figure 28) ;
- des différences dans le graphisme des caractères lisibles sur la photographie et ceux figurant sur le support papier.



Figure 28 Les caractères lisibles sur le support papier ne sont pas visibles sur la photographie du titulaire

5.2.2.4. Les films de protection

Comme nous l'avons déjà précisé, leur rôle est de protéger les mentions variables et la photographie du document (passeport, permis de conduire ...) tout en permettant son authentification lors d'un contrôle relativement simple.

La vérification de leur état de conservation permet en théorie de constater que le document n'a pas fait l'objet d'une tentative de falsification. Le contrôle des films de protection peut être facilité par la présence d'impressions invisibles en lumière blanche mais fluorescentes sous radiations ultraviolettes. Dans ce cas, pour dénoncer une substitution de la photographie du titulaire, il faut pouvoir mettre en évidence des désalignements au niveau des impressions invisibles fluorescentes, des traces de découpe ou des plis sur le film (figure 29).



Figure 29 Désalignement des impressions

5.2.3. La falsification par contrefaçon

Il ne s'agit pas comme dans le cas de la contrefaçon évoquée jusqu'ici de la fabrication par imitation d'un document complet mais seulement d'une partie de ce dernier.

Les cas les plus souvent rencontrés concernent les passeports dont seule la page comportant l'état civil du titulaire est contrefaite avant d'être intégrée au livret à la place de la page originale.

La mise en évidence de ce type de falsification s'opère de la même façon que la recherche de contrefaçon de documents sécurisés.

6. Le rôle de l'expert

Pour déterminer si les documents qui lui sont soumis, quelle que soit leur origine, sont authentiques, contrefaits ou falsifiés, l'expert doit connaître non seulement leur procédé de fabrication depuis la réalisation du support jusqu'à la personnalisation, mais également les techniques et matériels dont peut disposer le faussaire pour les imiter le mieux possible ou les modifier sans laisser de trace apparente.

Il doit donc se tenir informé en permanence de l'évolution des procédés et matériaux employés pour confectionner les documents authentiques mais aussi des progrès des techniques, en matière d'informatique et de bureautique par exemple, mises à la disposition des professionnels et du grand public.

Outre sa place au sein du procès pénal, l'expert peut, à la demande des autorités, intervenir en amont dans la lutte contre la contrefaçon, lors de la conception de nouveaux documents sécurisés. En effet, ses connaissances alliées à la diversité des faux examinés dans le cadre de procédures judiciaires, lui permettent d'émettre un avis fondé sur l'expérience du terrain, quant à l'efficacité des sécurités existantes et la nature de celles à mettre en œuvre.

7. Conclusion

Si la finalité de l'expertise en documents n'a pas varié, sa mise en œuvre a beaucoup évolué lors des trois dernières décennies. Cette évolution reflète celle des documents qui ont été dotés de sécurités de plus en plus nombreuses et sophistiquées dans le but de les rendre infalsifiables et de limiter autant que faire se peut le nombre de contrefaçons.

Parallèlement, les faussaires aidés par les possibilités qu'offrent les nouvelles technologies, améliorent sans cesse la qualité de leur « production ».

Tout ceci se traduit au niveau de l'expertise, par l'utilisation de plus en plus fréquente de techniques d'analyses physico-chimiques car les méthodes d'observation classiques ne sont pas toujours suffisantes pour caractériser les nouveaux matériaux entrant dans la composition des supports, des encres et autres protections rapportées.

Si, à ses débuts lorsqu'elle portait sur l'examen de documents administratifs composés exclusivement d'un support papier doté d'un nombre très restreint de sécurités, l'expertise en documents pouvait être qualifiée de spécialité technique, elle mérite aujourd'hui le qualificatif de scientifique au même titre que les autres expertises réalisées en criminalistique. L'office des nations Unies contre la drogue et le crime y consacre un guide spécialisé spécifique très documenté [8] et l'European Network of forensic institute (ENFSI) a créé un groupe spécialisé dans le domaine judiciaire de l'analyse des documents, le EDEWG [9].

8. Bibliographie

- 1) Albrecht WS, Albrecht CC, Albrecht CO. Fraud Examination, South-Western Publishing, 2005 ; 2^{ème} édition.
- 2) Hollegie, J. H. J. Basic Knowledge, Document Recognition. NL, 2009 ISBN : 97 89012130615
- 3) Ellen D. Scientific Examination of Documents Methods and Techniques 3ème Edition. Boca Raton: CRC Press 2005
<http://www.crcnetbase.com/doi/pdfplusdirect/10.1201/9781420037333.fmatt>
- Nickell J. Detecting Forgery : Forensic Investigation of Documents, University Press of Kentucky, 2005
<http://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=6Hh-EnnnO1gC&oi=fnd&pg=PP9&dq=Nickell+J.+Detecting+Forgery:+Forensic+Investigation+of+Documents,+University+Press+of+Kentucky,+2005&ots=pG7bAbrCrL&sig=k1mB-TiuAWH5ifws-dNhJ1zGu7SY#v=onepage&q=Nickell%20J.%20Detecting%20Forgery%3A%20Forensic%20Investigation%20of%20Documents%2C%20University%20Press%20of%20Kentucky%2C%202005&f=false>
- 5) Zeba-Palus J, Kunicki M. Application of the micro-FTIR spectroscopy, Raman spectroscopy and XRF method examination of inks. Forensic Science International. 2006 ; 158 (2-3) :164-172
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379073805003221>
- 6) Claybourn M, Ansell M. Using Raman Spectroscopy to solve crime: inks, questioned documents and fraud. Science & Justice 2000; 40: 261-271
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1355030600719964>
- 7) Ruste J. Chapitre XXVII. La place du MEB dans les techniques expérimentales. Microscopie électronique à balayage et Microanalyse, EDP Sciences (2008)
http://micro.icaunais.free.fr/place_meb.pdf
- 8) UNODOC. Guide pour la création d'une capacité d'expertise scientifique des documents. Section scientifique et du laboratoire Office des nations unies contre la drogue et le crime. Vienne. New York. 2010/ST/NAR/42 ; 1-43.
http://www.unodc.org/documents/scientific/FDE_Guide_F_ebook.pdf
- 9) European Documents Experts Working Group of the European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI/EDEWG). www.enfsi.eu
<http://www.enfsi.eu/about-enfsi/structure/working-groups/documents>

Chapitre 14. Expertise en matière d'attentat NRBC

Point. 1-2 **Wachtel C, Ricordel I, Lemagnen G**

Point 3. **Dorandeu F, Bérard S, Taudon N, Debouit C**

Point 4. **Vidal D, Thibault F, Forcet S**

1. Introduction

Ce chapitre, apparemment en marge de l'expertise en police scientifique, a cependant toute sa place dans cet ouvrage en raison des problématiques analytiques et expertales qui y sont traitées mais également parce que les acteurs et les structures de police technique et scientifique sont (paragraphe 2) ou seront de plus en plus impliqués à divers niveaux de leur traitement.

Aujourd'hui les compétences et les moyens sont essentiellement présents au sein du ministère de la Défense et notamment au sein du centre d'expertise et d'essais de la Direction générale de l'armement (DGA) maîtrise NRBC (anciennement centre d'études du Bouchet, CEB) et dans le service de santé (Institut de recherche biomédicale des armées, IRBA) auquel il a été fait appel pour la rédaction de cette partie de l'ouvrage (paragraphe 3 et 4).

Le terrorisme chimique, biologique ou nucléaire, nouvelle menace dite NRBC-E (E pour Explosion, généralement associée), est de mieux en mieux pris en compte par les instances gouvernementales.

C'est pourquoi, en préliminaire au développement du rôle des laboratoires lors d'expertises dans le cadre de terrorisme et d'agressions chimiques d'une part (Point 3) et biologiques (Point 4) d'autre part, le point est fait sur l'organisation actuelle de la France dans ce cadre et sur le niveau de préparation et d'intervention devant être mis en œuvre ainsi que des stratégies d'emploi des moyens disponibles (Point 2).

2. Organisation des réponses aux menaces NRBC

2.1. Une menace permanente

Au début des années 80, rares sont ceux qui prennent au sérieux le risque de voir se développer un terrorisme utilisant des matières nucléaires (N), des radionucléides (R), des agents biologiques (B) ou des produits chimiques (C). Pourtant, c'est à cette époque qu'à la demande du Premier ministre, le secrétariat général de la défense nationale prépare les premiers plans gouvernementaux Piratome et Piratox. Mais, à cette époque, seul un cercle restreint de spécialistes travaille dans ce domaine. En 1994 est créé le détachement central interministériel d'intervention technique, regroupant des compétences des ministères de l'intérieur et de la défense, ainsi que du Commissariat à l'énergie atomique pour faire face aux menaces d'utilisation d'agents N ou R à des fins terroristes.

Le 17 mars 1995, un premier exercice interservices est réalisé à la préfecture de l'Essonne, sur un scénario d'attentat chimique.

Trois jours plus tard, le 20 mars 1995 marque la prise de conscience par le grand public de la réalité du terrorisme NRBC, avec l'attentat au sarin du métro de Tokyo, qui fait 11 morts et désorganise la capitale japonaise pendant une journée, plusieurs milliers de personnes affluant dans les hôpitaux pour se faire soigner. Un an plus tôt, un premier attentat au sarin a été commis dans la ville de Matsumoto, mais il est passé presque totalement inaperçu hors du Japon. Sept personnes ont pourtant perdu la vie.

Aux Etats-Unis, en 2001, les enveloppes contenant le bacille du charbon ont montré le potentiel désorganisateur de telles actions, même si leur impact réel est resté limité. En France, plus de 5 000 alertes, toutes infondées, ont été traitées par les services de secours, les services médicaux, les forces de sécurité, la DGA maîtrise NRBC et l'IRBA-Centre de recherches du Service de santé des armées (CRSSA).

En 2007, une série d'attaques terroristes en Irak impliquant des camions transportant des réservoirs de chlore a confirmé que les groupes terroristes continuaient à être attirés par l'emploi de substances NRBC.

2.2. La stratégie de réponse et les doctrines d'intervention

En 2008, suite aux travaux de rédaction du « Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale », le Gouvernement a décidé de renforcer l'action de l'Etat dans le domaine de la lutte contre le terrorisme NRBC sous les auspices d'un Comité stratégique présidé par le Secrétaire général de la défense et de la sécurité nationale, auquel participent les ministères chargés de l'intérieur, de la défense, de la santé, des transports, de l'agriculture, de l'industrie et du budget.

Ce comité s'est réuni à trois reprises depuis décembre 2008. Il a formalisé une stratégie nationale, la « doctrine de l'Etat de prévention et de lutte contre le terrorisme NRBC-E », permettant à l'ensemble des ministères et acteurs du dispositif d'œuvrer dans un même cadre avec des objectifs convergents. Il a également approuvé un programme d'ensemble interministériel dont la mise en œuvre a été immédiatement entreprise.

Le dispositif français repose sur des textes élaborés aussi bien au niveau central que territorial.

Des plans gouvernementaux précisent l'organisation à mettre en place et les mesures à prendre au niveau central de l'Etat : Piratox pour le terrorisme chimique, Biotox pour le biologique et Piratome pour le nucléaire et radiologique. Ces trois plans ont été remplacés en 2010 par un plan unique « Pirate NRBC » [1]. Le choix d'un document unique s'est fait dans un souci d'efficacité dans une situation réelle où régnerait l'incertitude, voire les rumeurs, tant sur l'origine accidentelle ou malveillante de l'événement que sur sa nature N, R, B ou C.

Le dispositif national de prévention et de réponse est décrit dans la circulaire 007/SGDN [2], cosignée par les ministres chargés de l'intérieur, de la défense, de la santé, de l'économie, de l'agriculture, des transports et du budget. L'objectif de cette circulaire est d'informer les intervenants de tous niveaux sur l'organisation nationale du dispositif au sein duquel ils sont appelés à agir.

Les plans gouvernementaux sont généralement déclinés au niveau des zones de défense et des départements. L'action face à un attentat s'appuie sur des doctrines nationales de secours et de soins décrites dans deux circulaires, la Circulaire 700/SGDN [3] pour les actes de terrorisme chimique et la Circulaire 800/SGDN [4] pour les actes de terrorisme utilisant des agents radioactifs. Ces deux circulaires sont cosignées par les ministres chargés de l'intérieur, de la défense et de la santé.

Le cas de l'attentat biologique est traité de façon spécifique. Le ministère chargé de la santé a préparé, à cette fin, des guides spécifiques : variole ; peste ; charbon ; tularémie (PCT) ; toxines.

Le dispositif national comprend une étape de prévention, une étape d'intervention préventive et une étape d'intervention post-attentat.

2.3. De la prévention à l'« intervention préventive »

La prévention s'appuie sur un effort ciblé en matière de renseignement, ainsi que sur des mesures visant à prévenir l'accès non autorisé aux agents NRBC susceptibles d'être utilisés à des fins terroristes. Une réglementation spécifique encadre sévèrement tout ce qui touche aux matières nucléaires. L'accès aux précurseurs d'agents chimiques fait également l'objet d'un contrôle rigoureux.

Quant aux agents biologiques susceptibles d'être utilisés par des terroristes, ils sont contrôlés dans le cadre d'arrêtés précisant dans quelles conditions peuvent être réalisés leur importation, leur détention, leurs transferts et leur exportation ; il s'agit d'en avoir une parfaite traçabilité.

L'intervention préventive peut être réalisée face à deux types de situations :

- celles où des terroristes menacent de disperser des produits RBC ;
- celles où l'on découvre un engin improvisé de nature NRBC.

Dans le premier cas, les unités d'intervention antiterroristes, tel le RAID de la police nationale ou GIGN de la gendarmerie nationale, sont équipées et entraînées pour neutraliser des terroristes en ambiance contaminée. Ils disposent de moyens de protection spécialement adaptés à leurs missions et s'entraînent régulièrement dans ces conditions difficiles.

Dans le second cas peut intervenir le Détachement central interministériel d'intervention technique (DCI [5]), qui est une unité spécialisée en premier lieu dans la sécurisation d'engins NRBC. Ses compétences et ses équipements de haute technologie lui permettraient aussi bien d'intervenir face à un engin fruste dégageant un produit chimique toxique que face à une arme nucléaire que des terroristes menaceraient de déclencher.

Le DCI est un service à compétence nationale, placé auprès du ministre de l'intérieur. Il comprend des éléments de la police nationale, de la gendarmerie nationale, des démineurs civils et militaires, des unités d'instruction et d'intervention de la sécurité civile, des spécialistes de la DGA maîtrise NRBC du ministère de la défense et une équipe importante du Commissariat à l'énergie atomique.

Hormis la mise en sécurité d'engins NRBC avant qu'ils ne fonctionnent, le DCI est également responsable de la sécurisation NRBC-E des grands événements, telles des visites de hautes personnalités, des commémorations importantes ou des compétitions sportives majeures.

Face à des enveloppes suspectes, comme celles reçues aux Etats-Unis en 2001, contenant le bacille du charbon, une Cellule nationale de conseil assure une permanence 24 heures/24 au ministère de l'intérieur pour conseiller les services intervenant sur le terrain, évaluer la vraisemblance d'une action terroriste et orienter, le cas échéant, des prélèvements vers les laboratoires spécialisés du réseau Biotox-Piratox [6].

Ce réseau, animé par un conseil scientifique, fédère une centaine de laboratoires répartis sur le territoire national, y compris des laboratoires mobiles comme le véhicule d'intervention Biotox-Piratox de la gendarmerie nationale (VIBP) et étant en capacité de détecter les principaux agents de la menace biologique et chimique et de pratiquer des analyses biologiques, chimiques ou toxicologiques sur des prélèvements d'origines humaine, environnementale et/ou vétérinaire, soit pour la gestion immédiate de l'événement soit aux fins d'enquête. Sont organisés chaque année un colloque national pour partager les savoir-faire, ainsi que des exercices permettant de tester la réponse opérationnelle des laboratoires face à des échantillons de nature inaccoutumée (voir aussi paragraphes 3 et 4).

2.4. Après un attentat : priorité aux secours et à l'enquête

Si une menace est mise à exécution et qu'un attentat se produit inopinément, on met en œuvre, sur le site touché, les dispositions des circulaires correspondantes. Pour les attentats biologiques, on considère que la logique serait différente et qu'ils ne seraient connus qu'avec un certain retard, l'alerte étant donnée de façon privilégiée par les sollicitations concernant des patients se présentant dans le système hospitalier avec une symptomatologie inhabituelle.

En vertu des circulaires 700 et 800,

- toute action terroriste doit faire l'objet **d'une levée de doute** pour vérifier qu'aucun agent radiologique, biologique ou chimique n'a été dispersé. Cette levée de doute ne doit toutefois pas retarder la prise en charge des victimes dont l'état exige des actions d'urgence ;
- tout événement de nature NRBC est présumé contaminant et doit être traité comme tel, en attendant une confirmation. Il est dès lors nécessaire de décontaminer les personnes afin qu'elles ne dispersent

pas le risque autour d'elles, notamment dans les établissements hospitaliers qui risqueraient d'être neutralisés.

Les contraintes de l'urgence imposent une prise en charge des victimes en deux étapes,

- une première étape réalisée au point de rassemblement des victimes (PRV), comprenant :
- un déshabillage et une première décontamination sommaire visant à arrêter l'absorption du produit toxique, en utilisant par exemple de la terre de foulon et/ou des douchettes ;
- la réalisation de gestes médicaux d'urgence pour assurer la ventilation et l'administration d'antidotes dès lors que l'agent en cause a été identifié ;

Pour cette première étape, des lots dits « PRV » ont été mis en place dans les principales agglomérations, avec à la fois du matériel médical et des moyens de décontamination d'urgence ;

- une deuxième étape, généralement différée, de décontamination approfondie, pouvant être réalisée dans des chaînes de décontamination de grande capacité. Environ 70 chaînes mobiles de ce type, généralement sous tentes, sont actuellement réparties sur l'ensemble du territoire national, auprès des services d'incendie et de secours.

La décontamination est un processus long et délicat. C'est pourquoi, dès lors qu'il apparaît clairement que le produit utilisé n'est pas contaminant, ce dispositif est levé afin de permettre la prise en charge médicale des victimes dans des délais réduits.

Sous l'autorité unique du commandant des opérations de secours (COS), le rôle des forces de sécurité est particulièrement important sur le site de l'attentat. Disposant de tenues de protection et entraînées à leur usage, elles sont non seulement chargées d'assurer un périmètre de sécurité, mais également d'inspecter les lieux pour éviter un second attentat et neutraliser d'éventuels terroristes. Aucune intervention en zone contaminée n'a lieu sans l'autorisation du COS mais également sans accompagnement dans la zone par un binôme sapeur-pompier. Mais elles ont aussi pour missions :

- de canaliser les flux humains vers le PRV et les chaînes de décontamination ;
- d'aider à la mise en œuvre des mesures de protection du public, telles le confinement ou l'évacuation ;
- d'identifier et de prendre les coordonnées des personnes impliquées, en vue d'assurer leur traçabilité, notamment si des effets retardés sur la santé étaient mis en évidence ;
- d'identifier les éventuels témoins ou suspects, afin de faciliter les investigations futures de la police judiciaire ;
- de prendre en compte les effets personnels des victimes et des impliqués devant être déshabillés (voir paragraphe 2.8.1.) ;
- de préserver l'intégrité de la scène de crime, ainsi que des traces et indices.

La gendarmerie nationale dispose d'une cellule nationale NRBC, d'un sous-groupement opérationnel NRBC de 4 escadrons, pouvant notamment intervenir sur la capitale, ainsi que **d'escadrons de zone équipés et entraînés pour de telles situations**. La police nationale dispose d'**unités spécialisées (Constox)** pour intervenir lors d'attentats NRBC.

La plupart des SAMU disposent également de tenues de protection et de moyens spécifiques leur permettant d'intervenir en toute sécurité en cas d'attentat présumé NRBC.

Le travail des intervenants en tenue de protection étant physiquement très éprouvant, des renforts doivent être envoyés sans tarder sur les lieux de l'action terroriste pour relayer les premiers intervenants dès que le besoin s'en fait sentir. Ces renforts proviennent en priorité des départements de la zone de défense et des autres départements proches. Mais des moyens nationaux doivent automatiquement être alertés et, si nécessaire, acheminés dès que l'événement est connu, notamment :

- les moyens d'« intervention technologique » des unités d'instruction et d'intervention de la sécurité civile de Brignoles et Nogent-le-Rotrou ;

- les moyens des Armées, tels le régiment NBC de Fontevraud, le Service de santé des armées et les forces ;

Certains opérateurs de services publics disposent également d'équipes dotées de moyens de protection, qui sont destinées à apporter un soutien technique aux services de secours, en cas d'attentat NRBC, notamment dans les chemins de fer, les transports souterrains etc.

Une organisation particulière est mise en place en zone de défense de Paris. Une coordination efficace existe sur la problématique NRBC-E entre la brigade des sapeurs-pompiers de Paris (BSPP), compétente pour Paris et la petite couronne, et les Services départementaux d'incendie et de secours de la Grande couronne parisienne. En cas de déclenchement du « Plan jaune », déclinaison de la circulaire 700/SGDN, une assistance mutuelle de ces services est prévue, prenant en compte le risque d'attentats multiples. La BSPP dispose de moyens importants d'intervention en cas d'attentats NRBC, notamment de six chaînes lourdes de décontamination, d'une Cellule mobile d'intervention biologique et de réserves importantes de cagoules Evatox, permettant d'évacuer des personnes en ambiance toxique. Le laboratoire central de la préfecture de police intervient en première intention pour la préservation des preuves.

Au cours des dernières années le SGDN a encouragé et financé la mise au point de matériels répondant à de nouveaux besoins en matière d'intervention NRBC, par exemple :

- des dispositifs individuels d'amplification de la voix permettant à un opérateur en tenue de protection de s'adresser à un petit groupe de personnes sur les lieux d'un attentat ;
- des lots de prélèvement en cas de suspicion d'attentat biologique ;
- des lots de moyens signalétiques permettant d'orienter les sauveteurs, les impliqués et les victimes dans le périmètre pollué d'un attentat NRBC ;
- des lots d'intervention d'urgence, pour une première décontamination des victimes dès qu'elles sont réunies au Point de rassemblement, ainsi que pour réaliser les gestes médicaux de survie etc.

L'Etablissement de préparation aux urgences sanitaires du ministère de la santé assure la gestion de stocks d'antidotes chimiques et de produits de santé destinés à faire face à des attaques biologiques. Des réserves de chélateurs sont également prévues en cas d'attentat par « bombe sale » dispersant des produits radioactifs.

La France dispose d'une réserve de vaccins antivarioliques permettant d'immuniser la totalité de sa population. La variole a été éradiquée de la planète à la fin des années 70, la vaccination a donc été rapidement interrompue. Notre pays pourrait également disposer très rapidement d'un nombre important de doses de sérum anti botulique. Face aux agents bactériens (PCT), des réserves importantes d'antibiotiques ont été constituées, traitements qui pourraient être distribués en moins de 24 heures à plusieurs millions de personnes.

En matière de lutte contre le terrorisme NRBC, la France mène une politique active de coopération internationale, allant d'échanges bilatéraux avec certains pays jusqu'à une participation très active à des forums internationaux, tels le G7 + Mexico sur les aspects sanitaires de la réponse au terrorisme NRBC. Cette composante est également prise en compte dans le cadre des travaux du Mécanisme européen de protection civile.

2.5. Conditions particulières d'intervention des services de police et gendarmerie

La circulaire interministérielle N°750/SGDN/PSE/PPS/CD du 18 février 2011 [7] définit la procédure à suivre pour le traitement des plis, colis et substances suspects de contenir des agents biologiques, chimiques ou radioactifs dangereux afin d'apporter une réponse opérationnelle proportionnée au risque et à la menace.

Le service de police ou de gendarmerie territorialement compétent doit être saisi en premier lors d'une suspicion. Il doit informer sans délai la préfecture (service de protection civile), la cellule nationale de

conseil (SNC), le Centre Opérationnel et de Renseignement de la Gendarmerie (CORG) ou le Centre Interministériel de Crise (CIC) puis conduire les investigations nécessaires à une première évaluation du signalement. La préfecture informe l'Agence régionale de santé (ARS) de la situation.

Le CORG ou le CIC demande l'attribution d'un numéro national de signalement au Service Interministériel de Défense et de Protection Civile (SIDPC). Lorsque l'investigation ne permet pas de lever le doute, le COG ou le CIC contacte la Cellule Nationale de Conseil (CNC). Le service recueille les informations nécessaires pour compléter la fiche de signalement NRBC et inscrit le numéro national dès qu'il en a connaissance. Après décision du bien fondé de la suspicion par la Direction Départementale de la Sécurité Publique (DDSP) ou par le Commandant du groupement de gendarmerie, le service détermine les ressources et protections nécessaires au traitement du pli, colis ou substance. Il s'assure de la levée de doute pyrotechnique avant enlèvement puis acheminement de tout pli ou colis fermé au laboratoire d'analyse ou au local départemental pour stockage avant destruction. Lorsque le pli ou colis a été ouvert et préalablement à tout envoi pour analyse, un prélèvement est réalisé sur place avec les protections appropriées. Les colis volumineux et/ou lourds sont également traités sur place et ouverts avec les précautions nécessaires par des équipes spécialisées qui effectuent les prélèvements. En effet, les laboratoires capables de détecter des agents biologiques hautement pathogènes possèdent des équipements et infrastructures qui ne peuvent accueillir des colis de grandes dimensions sans risques pour la sécurité du personnel et pour l'environnement. Dès la prise de décision d'analyse, le laboratoire doit être prévenu par téléphone et destinataire de toutes les informations disponibles afin de préparer au mieux la réception, notamment en cas de suspicion de risque chimique et/ou radioactif associé à un risque biologique. Tout prélèvement, pli ou colis destiné à une analyse doit être conditionné dans un triple emballage transparent et envoyé au laboratoire avec la fiche de signalement NRBC associée.

2.6. Constatations judiciaires en zone contaminée par des toxiques de type radiologique, biologique ou chimique (NRBC).

La police et la gendarmerie nationales ont développé les capacités nécessaires à la réalisation de constatations judiciaires en milieu contaminé N, R, B ou C avec pour objectif, comme pour les attentats classiques, d'identifier, grâce aux traces et indices qu'ils y ont laissés, les auteurs de ces infractions.

Ces constatations nécessitent de disposer d'équipements de protection individuelle adaptés à une mission en zone d'exclusion pendant un temps relativement long. Elles s'effectuent selon une méthodologie adaptée aux contraintes rencontrées incluant d'autres missions d'identité judiciaire.

Le port d'un Equipement de Protection Individuelle (EPI), fonction du toxique en cause, de sa concentration et de la zone, est déterminé par le commandant des opérations de secours (COS). On l'adapte en permanence selon les informations disponibles. Les services de secours qui assurent la prise en compte des blessés fournissent l'assistance indispensable aux intervenants.

La Police nationale s'appuie depuis 2010 sur une unité dédiée (CONSTOX) et des missions d'identification de toxiques sont dévolues aux services d'incendie et de secours. La cellule nationale NRBC de la Gendarmerie (C2NRBC) dispose quant à elle de capacités de prélèvements, de levées de doute et d'analyse et assure la sécurité des personnels chargés des constatations (TIC et IRCGN).

2.7. Les principales missions de la Police judiciaire

2.7.1. Intervention en zone contaminée des fonctionnaires en charge des constatations.

L'unité CONSTOX n'intervient que si la levée de doute sur un risque de « surattentat » a été effectuée par les démineurs. En cas de découverte ou de suspicion de présence d'objets dangereux pendant le déroulement des constatations, on procède à une évacuation et à une nouvelle intervention des démineurs.

Si son rôle principal en zone de danger immédiat est la recherche des traces, indices et tous éléments en vue de l'identification du ou des auteurs, il permet également celle des victimes. L'identification du type de toxique par les services de secours conditionne le dimensionnement de l'intervention et les équipements de protection individuels à utiliser. La procédure prévoit que deux des prélèvements effectués par les sapeurs-pompiers sont scellés et réservés pour expertise et contre expertise.

L'unité nationale CONSTOX regroupe des fonctionnaires volontaires de l'Identité judiciaire (services centraux et régionaux et services d'enquête). Elle est soutenue, soit par les cellules mobiles d'intervention chimique (CMIC) ou radiologique (CMIR) des services départementaux d'incendie et de secours (SDIS) ou de la BSPP, soit par la cellule nationale NRBC de la gendarmerie nationale (C2NRBC) notamment en cas d'intervention à l'étranger. Ces membres se regroupent sur le lieu de l'événement par tous moyens à leur disposition. Leur matériel est stocké et maintenu au service central d'identité judiciaire (SCIJ). Lors de l'intervention plusieurs équipes successives (spécialisées par tâche simple) de deux à quatre enquêteurs et/ou spécialistes en identité judiciaire, se relayent sur la zone.

Les équipements comprennent trois niveaux croissants de protection en fonction de la dangerosité du produit en cause. L'équipement le plus protecteur est privilégié en l'absence d'information sur le type ou la concentration du produit toxique. Il s'agit du scaphandre GR III MATISEC muni d'un appareil respiratoire isolant (ARI) de type Triplair (9 litres à 300 bars de pression) d'une heure d'autonomie en zone contaminée, totalement étanche aux gaz et aux liquides et d'une forte résistance mécanique aux déchirements (figure 1).

De moindre résistance mécanique, la combinaison légère de décontamination (CLD 500 - société Paul BOYE) également étanche aux liquides et gaz, équipée d'une assistance respiratoire et de deux cartouches filtrantes à large spectre est choisie si le produit en cause est de dangerosité moyenne ou à une concentration jugée compatible (figure 2).

Enfin, des tenues charbonnées avec masque et filtre à large spectre sont disponibles de manière plus générale au sein de la police nationale (figure 3).

Du fait de leur étanchéité, les scaphandres lourds et les CLD qui montent rapidement en température sont portés avec un gilet pourvu de sacs réfrigérants ; leur port est supportable au maximum une heure. Une réserve d'air importante est en permanence disponible à proximité immédiate de l'intervention.



Figure 1 Scaphandre GRIII muni d'un ARI (Matisec)

Les intervenants communiquent en permanence par radio (P2G Acropol) entre eux et avec le PC CONSTOX selon une procédure précise, stricte et cryptée. Un coordonateur vérifie le niveau de pression des ARI et réoriente éventuellement l'action de l'équipe selon le danger et ordonne l'évacuation. Celle-ci est automatique en cas d'interruption radio.

Les services de secours ou la C2NRBC assurent un accompagnement de sécurité afin de parer à toute éventualité.

2.7.2. Les constatations et les actes techniques en zone contaminée

L'unité CONSTOX se regroupe sur le lieu de l'intervention projetée dans un délai de 2 heures abondé de la durée du trajet. A l'arrivée sur les lieux le responsable de l'unité CONSTOX

est rapidement informé par le COS sur : La possibilité de déploiement des moyens, la neutralisation et le confinement éventuel de la source, la décontamination possible des lieux rendue inévitable pour éviter la dispersion de toxiques contaminants, handicap majeur à la préservation des traces et indices. Le PC est alors installé en zone libre mais à proximité de l'entrée de la zone contrôlée. Les matériels sont vérifiés. Une zone d'habillage est mise en place. Informé précisément sur la situation par le responsable du service d'enquête, le responsable CONSTOX détermine avec ce dernier l'ordre et l'effectif des équipes employées sur le terrain, le schéma d'intervention, les moyens mis en œuvre et les modalités de l'entrée en zone et en rend compte au COS qui décide ou non de l'entrée en zone de danger.



Figure 2 tenue CLD 500



Figure 3 tenue charbonnée

2.7.2.1. Les constatations

Les constatations sont effectuées par des équipes de deux à quatre qui se succèdent sur la zone, soutenues chacune par une équipe de deux fonctionnaires de l'unité CONSTOX positionnée en soutien. L'unité CONSTOX peut également être assistée par les services de secours ou la C2NRBC de la gendarmerie nationale.

De manière générale, un premier binôme de fonctionnaires effectue une reconnaissance ([fiche technique \(a\)¹](#)) et prépare l'intervention, un deuxième met en place, si nécessaire, la sectorisation ([fiche technique \(b\)](#)), un troisième positionne et photographie les objets et indices ([fiche technique \(c\)](#)) et un quatrième procède aux prélèvements ([fiche technique \(d\)](#)). Pour chaque binôme, une équipe de soutien opérationnel est prépositionnée en tenue de protection CLD au niveau de la réserve d'air.

Lors de ces différentes phases, les notes prises font systématiquement l'objet d'une photographie numérique.

2.7.2.2. L'exploitation technique des traces et indices.

L'exploitation des traces et indices peut être effectuée sur place en tenant cependant compte de leurs difficultés de réalisation et de leur degré d'urgence. Cette exploitation peut également être effectuée, après transport des prélèvements, dans des enceintes dédiées telles que celles du centre d'expertise et d'essais de la DGA maîtrise NRBC au Bouchet ou du CRSSA de Grenoble² (voir ci-après paragraphes 3 et 4).

¹ Les fiches (a) à (e) figurent dans les notes techniques ou pratiques simplifiées en fin d'ouvrage.

² CRSSA Émile Pradé de Grenoble devenu IRBA Santé, 91223 Brétigny-sur-Orge depuis le 30 juin 2013.

2.7.3. La problématique des victimes décédées se trouvant dans la zone d'exclusion.

Les victimes décédées sont laissées sur place par les services de secours car ceci est primordial pour l'enquête afin d'éviter la perte de traces et indices. Cependant, en l'absence de médecins de l'avant projetés sur la zone et chargés du tri d'urgence blessés/personnes décédées, leur extraction risque d'être systématique, hormis dans le cas de morts très mutilés (par exemple décapitation). En tout état de cause, les corps ou parties de corps doivent être évacués après décontamination externe, puis entreposés en zone contrôlée et traités au plan médico-légal avec des précautions spécifiques, dans une structure dédiée (les corps restant possiblement contaminés intérieurement) où on procède conjointement aux investigations judiciaires et à celles relevant de l'identification.

2.7.4. La sortie de zone : décontamination et déshabillage

La sortie de zone de danger immédiat s'effectue soit sur l'initiative du fonctionnaire intervenant, en cas de problème, soit à la demande du PC CONSTOX, ou à celle des services de secours ou de la C2NRBC. Personne ne devant s'y retrouver seul, tous les intervenants doivent également en sortir impérativement en moins d'une heure pour leur compte rendu au PC CONSTOX et être décontaminés, déshabillés selon des procédures précises, hydratés, alimentés et selon les cas, médicalisés.

2.8. Les autres missions de l'Identité Judiciaire

2.8.1. Identification des impliqués en zone contrôlée :

En collaboration avec les enquêteurs, l'IJ procède à l'inventaire des effets vestimentaires des personnes impliquées qui sorties de zone et décontaminées, sont déshabillées et munies d'un bracelet d'identification numéroté. Dans le cadre du recueil d'éléments d'identification des victimes ou encore des auteurs de l'attentat ou de leurs complices, deux sacs portant les mêmes numéros, l'un contenant les vêtements et l'autre, les effets de valeur, sont placés dans un container en zone contaminée. Des photographies numériques incluant le numéro de bracelet servent de pièces de référence. L'inventaire est différé le moins longtemps possible et réalisé sous protection adaptée, la concentration en produits toxiques pouvant être importante.

2.8.2. Identification des impliqués en zone non contaminée :

Plusieurs équipes de fonctionnaires de police en liaison avec les enquêteurs, sont chargées d'effectuer le recensement et la signalisation des victimes vivantes au centre d'accueil des sujets impliqués (CADI).

Les personnes sans document d'identité doivent fournir tous les éléments permettant d'établir leur identité. L'officier de police judiciaire, sur accord du procureur de la République, peut procéder à la prise d'empreintes ou de photographies des personnes fournissant des éléments manifestement inexacts ou qui refusent de justifier de leur identité (article 78-3 du C.P.P.). Dans le cadre de son enquête, il peut en outre procéder, ou faire procéder sous son contrôle, sur toute personne susceptible d'être impliquée, aux opérations de prélèvements externes nécessaires à la réalisation d'examens techniques et scientifiques de comparaison avec les traces et indices prélevés. De même, il peut opérer des relevés signalétiques (prise d'empreintes digitales ou palmaires, photographies numériques notamment de la face et du bracelet d'identification ...) nécessaires à l'alimentation et à la consultation des fichiers de police selon les règles propres à chacun d'eux (article 55-1 alinéa 1 et 2 du C.P.P.). Ces pièces sont détruites au bout de 6 mois sous le contrôle d'un magistrat.

Un travail identique est réalisé par d'autres équipes au poste médical avancé (PMA) sur les personnes impliquées après décontamination en sortie de zone contrôlée. De même, des fonctionnaires sont chargés sous la conduite des enquêteurs, de la signalisation des personnes qui se présentent spontanément dans les hôpitaux ou qui y sont évacuées.

En ce qui concerne les personnes décédées, il est procédé à leur autopsie (*voir chapitre 4*) après décontamination externe pour déterminer les causes de la mort et concourir à la découverte d'indices intéressant l'enquête ainsi qu'aux opérations d'identification. Ces derniers suivent les modalités prévues pour les victimes de catastrophes mises en place par INTERPOL (signalisation par photographie, prise d'empreintes et inventaire des effets) et la méthodologie appliquée en cas d'attentats (note technique SCIJ n°1440/06). Les équipes médico-légales et les fonctionnaires en charge de ces actions se protègent de la contamination interne potentielle par le port de la tenue charbonnée ou de la CLD.

2.8.3. Soutien logistique et sécurité de l'intervention

Sous l'autorité du responsable de l'unité CONSTOX située en zone non contaminée, l'équipe de soutien logistique est constituée d'un responsable radio chargé de la sécurité des intervenants et du suivi chronologique de l'intervention, d'un fonctionnaire chargé de la gestion informatique des photographies et des vidéos, de logisticiens ainsi que d'une cellule « liaison et renseignement » constituant l'interface entre les services de secours ou d'enquête et les autorités.

Chaque intervenant est soutenu par deux logisticiens qui préparent le matériel individuel intervenant en zone contaminée (tenue, bouteilles d'air, radio, etc.) et qui assurent son habillage ainsi que son déshabillage après la décontamination effectuée par les sapeurs-pompiers. Un fonctionnaire contrôleur ne prenant pas part aux opérations en surveille la réalisation au moyen d'une check-list. Hors intervention, la maintenance et le stockage de l'ensemble des matériels sont assurés en permanence par le responsable de la logistique.

A tout moment, deux fonctionnaires équipés en CLD, à l'entrée de la zone de danger immédiat, peuvent apporter leur aide aux intervenants (assistance respiratoire d'urgence, évacuation rapide de la zone) indépendamment des moyens prévus par les services de secours ou la C2NRBC.

3. Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : Mise en œuvre de la dosimétrie biologique

C'est au cours du premier conflit mondial que des agressifs chimiques ont été pour la première fois utilisés à grande échelle contre des troupes : chlore, phosgène, acide cyanhydrique et ypérite (HD en codification OTAN) sont les agents les plus représentatifs. L'entre-deux guerres a vu la naissance d'autres composés comme les moutardes azotées et surtout les dérivés organophosphorés neurotoxiques ou NOP (agents dits G pour German : tabun, sarin et soman). En pleine guerre froide, une nouvelle famille de NOP a vu le jour avec comme représentants principaux le VX (A4 en codification française) et le VX russe. Pour des besoins évidents de protection, les armées de nombreux pays ont développé des moyens de détection de ces agents toxiques, soit dans un but d'alerte, soit dans un but de contrôle et confirmation de danger.

Afin d'adapter le niveau de riposte après l'utilisation par un ennemi d'armes chimiques dans le cadre d'engagements militaires, il est apparu essentiel de se doter de la capacité d'obtenir des preuves irréfutables quant à l'utilisation de ces armes particulières. Cela a conduit à la constitution d'équipes spécialisées dans la recherche de preuves, les équipes de prélèvement et d'identification NRBC (équipes dont l'acronyme anglo-saxon est SIBCRA pour *Sampling and Identification of Biological, Chemical and Radiological Agents*). Les nations de l'OTAN se sont alors dotées de procédures standardisées pour permettre le travail efficace de ces équipes (Document AEP-10 pour le prélèvement et l'identification des agents chimiques de guerre, AEP-49 pour le prélèvement et l'identification des agents radiologiques). L'objectif est de mener des prélèvements irréprochables sur le terrain puis de réaliser des analyses de confirmation dans les infrastructures nationales habilitées. Pour assurer une plus grande réactivité encore sur les théâtres d'opération, l'OTAN souhaite se doter d'un laboratoire d'analyse NBC déployable (NBC-AL) et d'équipes déployables d'investigation médicale (pour l'instant dans le domaine biologique et radiologique).

Le NBC-AL sera déployé sur ordre dans le monde entier pour permettre le prélèvement et l'identification d'agents par des experts et la fourniture d'avis scientifiques, et pour aider à la surveillance au niveau du théâtre des menaces NRBC, afin de donner aux commandants opérationnels la possibilité de prendre rapidement des décisions quant au mode d'action approprié. L'utilisation des agents chimiques de guerre étant maintenant bannie par un traité international, la convention internationale d'interdiction des armes chimiques (CIAC), entrée en vigueur le 29 avril 1997, les pays signataires ont souhaité se doter de moyens de vérification [8 ; 9] (voir [Convention sur l'interdiction des armes chimiques](#)). La CIAC prévoit ainsi un organe de contrôle du respect de cette convention, l'organisation d'interdiction des armes chimiques (OIAC), qui a progressivement mis en place des procédures adaptées à la recherche de preuves d'éventuelles contraventions. Certains pays sont particulièrement en pointe dans ce domaine. La Finlande par exemple, a établi depuis 1994 un institut indépendant sous les auspices de l'université d'Helsinki, l'institut Verifin. Cet institut développe des méthodes d'identification des agents chimiques de guerre dans des matrices non biologiques et dispense des formations spécialisées. En France, seul le centre de la DGA maîtrise NRBC est accrédité pour les analyses qualitatives de toxiques de guerre. Les ministères de la défense britannique et néerlandais très tôt, et plus récemment différentes organisations américaines comme le [Center for Disease Control \(CDC\)](#) ou le ministère de la Défense allemand, ont également porté leur effort sur la dosimétrie d'exposition à ces agents en développant des moyens analytiques appropriés à partir de matrices biologiques. Les délais d'intervention et la volatilité de certains toxiques peuvent faire craindre la perte de certaines preuves. Disposer de marqueurs fiables chez les individus exposés peut donc permettre d'alimenter l'enquête. Des procédures précises quant à la réalisation des inspections et des prélèvements ont ainsi été également mises en place dans un autre contexte international, celui des résolutions du conseil de sécurité de l'Organisation des Nations Unies envers l'Iraq à l'issue de la seconde guerre du Golfe (1990-1991). Ces résolutions ont conduit à la création d'un organe d'inspection dans le domaine des armes NRBC ainsi que des missiles, d'abord appelé United Nation Special Commission ([UNSCOM](#)) puis Commission de Contrôle, Vérification et Inspections des Nations Unies ([CCVINU](#), [UNMOVIC](#)) qui a mené entre 1991 et 2003 de très nombreuses inspections.

Depuis les attentats perpétrés par la secte millénariste Aum-Shinrikyo au Japon en 1994 et 1995, la réalité de cette menace est mieux connue. La répétition d'un tel attentat au sarin est toutefois peu probable pour des groupuscules dépourvus de moyens financiers et techniques très importants, voire du soutien d'un état possédant ce type d'agent [10]. D'autres scénarios sont néanmoins crédibles comme l'explosion de camions transportant des conteneurs de chlore utilisée en Iraq contre les troupes américaines et la population. D'autres toxiques suffocants pourraient être employés comme le phosgène à la large utilisation industrielle ou la chloropicrine, longtemps utilisée pour la destruction des renards ou pour des activités phytosanitaires. L'usage terroriste de l'acide cyanhydrique, soit libéré extemporanément dans un lieu clos par action d'un acide même faible sur un sel de cyanure comme tenté par la secte Aum au Japon, soit libéré suite à l'attaque d'installations industrielles, est également plausible. Enfin, certains pesticides assez similaires aux NOP présentent une forte toxicité mais une accessibilité plus grande que ces derniers. La mouvance Al-Qaïda se montrerait intéressée par l'utilisation de toxiques chimiques [11]. Quoi qu'il en soit, même de probabilité d'emploi faible, les toxiques de guerre ont un tel pouvoir de désorganisation et des conséquences sanitaires telles qu'ils justifient pleinement la politique active de prévention et de préparation au niveau national des pouvoirs publics.

Dans le cadre du terrorisme chimique, qu'elle relève de l'environnement ou de prélèvements animaux ou humains, la recherche des preuves de la production ou d'utilisation d'un toxique chimique de guerre doit appliquer des techniques analytiques mises au point et validées essentiellement par le ministère de la Défense. Il en est de même des procédures éprouvées de la prise en charge médicale des victimes [12].

3.1. Réponse à un attentat chimique

Différents services de l'Etat participent à cette réponse (voir ci-dessus et chapitre 2 *scènes de crime*) : pompiers, services médicaux d'urgence, forces de l'ordre, police scientifique et police judiciaire... Les scénarios d'emploi terroriste d'agents chimiques sont multiples impliquant des matrices variées dans lesquelles il conviendra de rechercher la signature du toxique : contamination ou dispersion à l'air libre ou en milieu confiné (métro, centre commercial par exemple), attaques contre des installations chimiques industriels, contamination d'un réseau d'eau potable ou contamination de la chaîne alimentaire.

Pour renforcer la protection des personnels réalisée aux moyens des équipements adaptés et permettre la reconnaissance de la situation, deux niveaux de détection chimique sont déployés : les détections d'alerte et de contrôle. Ces moyens de détection sont disponibles dans les unités militaires mais également dans les unités spécialisées des pompiers [13 ; 14 ; 15]. Certains détecteurs sont utilisés à la fois dans le cadre de l'alerte et dans celui du contrôle. D'autres, pour des raisons principalement de réponse trop lente, sont réservés au contrôle.



Figure 4
Papier détecteur PDF1



Figure 5 tubes
colorimétriques Dräger



Figure 6
Détecteur individuel

Pour la détection des toxiques chimiques de guerre (TCG) létaux, vésicants et NOP, les moyens à disposition reposent sur deux grands principes : des réactions chimiques colorimétriques (papier détecteur modèle F1 PDF1 alerte et contrôle : (figure 4), tubes colorimétriques Dräger (contrôle figure 5) et DETINDIV (contrôle figure 6)) et des méthodes chimiques instrumentales comme la photométrie d'émission pour deux types d'appareil de la société Proengin : l'appareil de contrôle de la contamination chimique (AP2C) utilisé pour la détection d'agents soufrés ou phosphorés (figure 7), et le TIMS (ou AP4C dans sa version militaire) qui possède une gamme plus étendue de détection (figure 8).



Figure 8 Détecteur de contrôle AP4C

Pour composés du P (neurotoxiques G, V : GA, GB, GD, GE, GF, VE, VX), composés de soufre (H, HD, agents HL), composés d'As (L, SA, DM) et autres : NH₃, ClCN, HCN, etc. et précurseurs des composés ci-dessus.



Figure 7 Détecteur de contrôle AP2C avec le dispositif S4 PE adapté aux liquides
Pour gaz neurotoxiques GA, GB, GD, GF, Vx et moutarde (HD)

Une plus vaste gamme de toxiques chimiques peut être détectée par des appareils basés sur différents principes physiques (photométrie par infra-rouge pour les toxiques à l'état gazeux comme le MIRAN SapphIRE (figure 9) ; photoionisation ; spectroscopie Raman pour les liquides ; spectrométrie de mobilité ionique comme le CAM ou le RAID-M (figure 10), cellules électrochimiques...). Certains de ces appareils sont utilisés par les pompiers face aux risques chimiques industriels mais leur sensibilité peut être insuffisante pour les NOP et les vésicants. Chaque appareil doit donc faire l'objet d'une étude spécifique réalisée par un laboratoire habilité.



Figure 9 MIRAN SapphRe
(Thermo electron corporation)



Figure 10 RAID-M

Les contraintes de traçabilité n'existent pas pour ces deux niveaux de détection contrairement aux analyses de confirmation pour apporter la preuve juridique de la présence d'un toxique et son identification. Ces analyses de confirmation seront confiées en France au réseau de laboratoires Piratox, le centre DGA maîtrise NRBC est le seul référent pour les toxiques de guerre dans les matrices environnementales. Des démarches similaires existent dans différents pays comme aux Etats-Unis où un grand programme se met en place sous la responsabilité du CDC, non seulement dans les domaines biologiques mais également chimiques.

Les étapes préalables de détection réalisées sur le terrain sont très utiles en orientant notamment le prélèvement des échantillons les plus significatifs.

3.2. Prélèvements

3.2.1. Importance des prélèvements

Dans le cadre d'une suspicion d'attaque chimique, il est nécessaire de prélever des échantillons de nature diverse, de les entreposer, de les traiter et de les transporter dans des conditions spécifiques afin de pouvoir indiquer de manière formelle et précise s'il y a eu ou non une attaque et quel agent a été utilisé.

Pour parvenir à une identification sans équivoque de cet agent, il faut respecter certaines règles pour éviter au maximum les erreurs d'échantillonnage qui compromettent les analyses (*voir fiche technique e*).

3.2.2. Echantillons biologiques

Dans ce paragraphe, ne sont considérés que les échantillons biologiques et les TCG suivants :

- les organophosphorés (NOP),
- les vésicants (ypérite HD, lewisite, moutardes à l'azote),
- les suffocants (phosgène, chlore, chloropicrine)
- les agents cyanés.

Pour chaque famille de toxiques et selon le type d'échantillon biologique prélevé, différents composés sont détectables (toxiques libres, métabolites, adduits). Il est à noter que la persistance des toxiques libres dans les échantillons biologiques est de quelques minutes (pour les agents G par ex.) à quelques heures (pour les agents V par ex.) et celle des métabolites de quelques jours. Les adduits, qui résultent de la fixation par liaisons covalentes de tout ou partie de l'agent toxique sur une molécule cible (très généralement protéique), peuvent être détectés de quelques semaines à quelques mois après l'exposition (*voir ci-dessous Tableaux I, II et III*).

Les échantillons témoins de sang et d'urine sont prélevés au laboratoire d'analyse. Les recommandations récentes du groupe de travail pluridisciplinaire « Toxicologie et biologie clinique » doivent être suivies. Des recommandations spécifiques pour les prélèvements médico-légaux existent également [16].

3.2.2.1. Sang

Dans le cadre du suivi médical des victimes, il est nécessaire de prévoir, en plus des prélèvements de sang habituels, un tube de sang sous anticoagulant (1x10 mL) sans gel séparateur destiné à des laboratoires spécialisés dans l'analyse des TCG. Le dosage des NOP requiert l'EDTA (acide éthylène-diamine-tétraacétique) comme anticoagulant qui évite la dégradation du toxique libre [17] et un traitement rapide des échantillons prélevés dans la demi-heure qui suit une exposition possible à des agents G, ou dans les toutes premières heures pour un agent V.

Les prélèvements de sang servent pour la détection, l'identification et la confirmation de :

- toxiques libres (NOP, HD, cyanures), ainsi que NOP régénérés (phosphonofluoridates) après réactivation des cholinestérases (ChE) par les fluorures,
- métabolites des NOP (acides méthylphosphoniques) et produits d'hydrolyse des vésicants,
- divers adduits des NOP, des vésicants et du phosgène sur les protéines.

3.2.2.2. Urine

Les prélèvements d'urine sont effectués afin de pouvoir doser :

- les métabolites des NOP (acides méthylphosphoniques) et des vésicants,
- divers adduits des vésicants sur les protéines.

3.2.2.3. Autres tissus biologiques

Les prélèvements de tissus permettent notamment de doser des :

- NOP régénérés (phosphonofluoridates) après réactivation des ChE par les fluorures,
- toxiques libres (ypérite, chloropicrine),
- adduits de l'ypérite sur l'acide désoxyribonucléique (ADN) et du chlore sur des résidus tyrosine des protéines.

3.2.3. Conservation des échantillons

En général, des températures plus basses assurent une meilleure conservation des agents contenus dans les échantillons. Ceux-ci doivent donc être maintenus dans un état aussi froid que possible. S'ils ne peuvent pas tous être refroidis, il faut donner la priorité aux échantillons de matières végétales et provenant d'hommes ou d'animaux.

Remarque : Les échantillons d'urines et de tissus biologiques doivent être préférentiellement congelés, alors que les prélèvements de sang (hormis post-mortem) doivent impérativement être réfrigérés, de préférence entre +4°C et +8°C, et non congelés afin d'éviter la lyse des globules rouges.

Si l'on ne dispose pas sur place de moyens de refroidissement, il faut emballer les conteneurs d'échantillons dans des linges imprégnés d'eau ou d'un mélange d'eau et d'alcool pour les refroidir. On peut aussi utiliser de la glace. La chaîne du froid ne doit pas être rompue.

3.3. Analyse en laboratoire

3.3.1. Méthodes de préparation / d'extraction

Avant d'être analysés, les échantillons peuvent subir diverses méthodes de préparation. Selon le type d'échantillon et la technique d'identification utilisée, la préparation permet d'améliorer la sensibilité en s'affranchissant de tout ou partie des impuretés liées à sa matrice et des composés susceptibles d'endommager les instruments sensibles (colonne chromatographique et/ou les sources de spectromètre de masse. Elles ne sont que citées ici. Des détails ainsi que des références bibliographiques concernant les toxiques chimiques de guerre sont présentés dans des fiches techniques.

- Extraction Liquide / Liquide (Liquid/Liquid Extraction - LLE) (fiche technique III n°1)
ex : Extraction à l'hexane du VX du plasma humain [18] ou du cyclosarin d'échantillons de sang hémolysé stabilisé par le formiate permettant ensuite la séparation des énantiomères à l'aide d'une phase chirale en LC-MS pour le VX et en GC-MS pour le cyclosarin [19].
- Extraction Liquide / Solide (Liquid / Solid Extraction - LSE) (fiche technique III n°2)
Ex : Extraction au dichlorométhane de l'ypérite et des NOP (sarin et soman) et leurs nombreux produits de dégradation dans des échantillons de sols, soniqués puis fortement agités dans des tubes en verre recouvert de téflon puis analysés ensuite en LC-ESI-MS-MS [20 ; 21 ; 22].
- Extraction en Phase Solide (Solid Phase Extraction - SPE) (fiche technique III n°3)
Ex : méthylphosphonofluoridate dans le sérum après exposition au VX et traitement aux ions fluorures [23] ; sarin et soman [24 ; 25].
- Microextraction en Phase Solide (Solid Phase Microextraction - SPME) (fiche technique III n°4)
Ex : détection de NOP (tabun, sarin, soman et produits de dégradation et de synthèse, VX (O-éthyl S-(2-diisopropylaminoethyl) méthylphosphono-thiolate) [26] ou d'ypérite, prélevés sur surfaces murales, tissus d'ameublement ou divers produits en papier, analysés par désorption electrospray/ionisation couplée à la spectrométrie de masse en tandem [27]. **Limites de détection (LD)** dans des prélèvements d'eau et de boue : 0,02 à 0,2 µg/l [28].
- Extraction en Phase Fluide Supercritique (Supercritical Fluid Extraction - SFE) (fiche technique III n°5)
Ex : NOP dans les sols à travers des fibres Isolut ENV+ (Styrène/divinyl-benzène 1100 m²/g) avec des phases de CO₂ supercritiques de 129-202 bars, à 60°C / 0,2 min puis CO₂-modifié/méthanol (700 µl à 80°C) pendant 10 à 40 min en statique et 20 min en dynamique puis à l'eau pressurisée à 100 bars à 150 °C [29] ; ypérite et dérivés avec une phase de CO₂ supercritique de 2600 PSI à 100°C [30].
- Extraction par Espace de tête (fiche technique III n°6)
Ex : Produits de dégradation du sarin (méthyl-phosphonate-diisopropyle) et du VX (méthyl-phosphonate-diisobutyle) dans des compositions bitumées destinées à la destruction des toxiques chimiques de guerre en Russie en vue du contrôle de l'efficacité du procédé [31].
- Thermodésorption (Thermodesorption - TD) (fiche technique III n°7)
Ex : extraction des vésicants : Lewisites sous formes dérivées butane monothiol et dithiol ou 3-4 mercaptotoluène et ypérites, à l'état de traces dans l'air, en TD-GC/MS [32] ; énantiomères du sarin dans les liquides biologiques dosés par exemple sur colonne Chirale Cyclodex B après thermodésorption en GC en deux dimensions (LD : 2,5 pg [33]).

3.3.2. Techniques d'identification /Analyseurs

Comme pour les méthodes de préparation ou d'extraction, des fiches techniques présentent les différentes méthodes que nous ne ferons que citer ici, ainsi que des références concernant les toxiques chimiques de guerre.

3.3.2.1. Méthodes de séparation

On distingue :

- les méthodes chromatographiques (en phase gazeuse ou liquide) (fiche technique n°8)

Ex : NOP et vésicants, associées à différents mode de détection [34 ; 26 ; 28].

La LC recouvre les mêmes domaines d'analyse que la chromatographie gazeuse auxquels on peut ajouter l'analyse des molécules thermosensibles et de haute masse [18 ; 35 ; 36].

- les méthodes électrophorétiques (fiche technique n°9).

Ex : Analyse biométrique en soman, sarin, VX et produits de dégradation EMPA, IMPA, PMPA MPA avec de très hautes sensibilités (LD de 0,2 nM à 0,2 µM selon le composé et la technique d'injection)[37]. Gamme encore plus large de NOP, à 25°C dans un milieu au pH réglé (Sorbate / éthanamine / méthanol / eau), injection hydrodynamique dans un capillaire nu de silice fondue de 35 cm de longueur, de 50 µm de diamètre, tension de séparation : 20 kVolts, détection UV indirecte, résolutions excellentes (hormis pour certains isomères) et des LD de l'ordre de 5 µg/ml à partir d'extraits de sol [38]

3.3.2.2. Méthode de détection

Il existe de nombreuses méthodes de détection (ultraviolet (UV), infrarouge (IR), résonance magnétique nucléaire (RMN), etc.), cependant la spectrométrie de masse (SM) reste la méthode de choix pour l'identification et la quantification des agents de guerre chimique.

- Ultraviolet (UV)

Couplée à une détection UV de haute sensibilité, l'électrophorèse capillaire indirecte des acides méthylphosphonique, éthyl méthylphosphonique, isopropyl méthylphosphonique, et pinacolyl méthylphosphonique, en milieu tampon acide glutamique à pH 3,22 permet d'atteindre des LD de 0,02 µM en utilisant un mode d'injection électrocinétique [37]. On a pu doser le sarin (limite de quantification LQ 12 µg/ml) et ses métabolites ainsi que la pyridostigmine (LQ 100 ng/ml) et son métabolite principal par HPLC après extraction SPE et détection UV à 280 nm [35].

- Infrarouge (IR)

Couplée à la GC/MS en ionisation chimique ou en impact électronique, voire à un autre type de détection, l'IR à transformée de Fourier apparaît comme un excellent moyen complémentaire de détection ou de confirmation pour de nombreux agressifs chimiques extraits de sols, de peintures ou de caoutchouc (ypérite, thiodiglycol-TMS, sesqui-ypérite (agent Q : 1,2-bis (2-chloroethylthio) éthane), Dibenzoxazépine (CR), CHMPA, CHEPA cyclohexyléthyl phosphonate, 1,4-dithiane-1-oxide, 2-méthoxyéthylpinacolyl-méthylphosphonate, MEP) [39 ; 40 ; 41].

- Résonance magnétique nucléaire (RMN)

Cette méthode permettant la détection de H, C, P, F, ... s'adapte en particulier aux substances difficilement extractibles voire non extractibles de leur support. C'est le cas de produits de dégradation de l'ypérite susceptibles d'être présents de longues périodes (plusieurs semaines) après contamination de

béton par exemple et détectables par H1 RMN et C13 SSMAS (Solid state magic angle spinning) [42; 43].

- La spectrométrie de masse (SM)

La spectrométrie de masse est la méthode de choix qui peut non seulement être exploitée en tant que détecteur quantitatif mais également en tant que méthode d'identification structurale précise des analytes. Cette technique couplée à la chromatographie en phase gazeuse et à la micro extraction sur fibre en phase liquide permet la détection de traces de la plupart des agents chimiques de guerre [28 ; 26]. Couplée à l'HPLC utilisant une phase chirale, elle permet l'analyse des énantiomères du VX [18].

(Pour les principes de ces méthodes consulter le chapitre V paragraphe 4 et les fiches techniques IV en fin d'ouvrage chapitre 19).

3.4. Dosimétrie des agents chimiques ou de leurs métabolites dans les milieux biologiques

Après un abord succinct des principales étapes de l'analyse des agents chimiques au laboratoire à partir d'échantillons de toute nature, ce paragraphe dresse, de manière plus précise, l'inventaire des dosages réalisables actuellement dans les milieux biologiques soit pour les agents chimiques eux-mêmes soit pour des composés formés par réaction covalente avec diverses biomolécules (adduits) ou pour leurs métabolites. Ce n'est qu'à partir de ces dosages biologiques que pourra être confirmée l'exposition d'un individu à un agent chimique, argument de preuve essentiel dans le cadre de l'enquête, ou dans le cadre de la surveillance des expositions professionnelles, et élément d'orientation diagnostique utile au clinicien. En revanche, pour que ces dosages puissent aider à la prise en charge médicale des victimes, il faut pouvoir disposer de résultats d'études démontrant une corrélation entre le niveau de concentration de l'analyte et le degré de sévérité de l'atteinte toxique ou le pronostic. Ce n'est malheureusement pas le cas pour la plupart des analytes présentés. Le caractère exceptionnel des expositions humaines aux TCG explique que ces études de corrélation, lorsqu'elles sont initiées, sont menées sur des animaux.

Pour chaque type d'agent susceptible d'être identifié en milieu biologique, sont présentés les dosages réalisables associés à la fenêtre temporelle de détection, les matrices utilisables [44 ; 45 ; 46]

Mises à part quelques unes (dosage sanguin de l'activité des cholinestérases plasmatiques ou plus rarement érythrocytaires, dosage sanguin des cyanures), les analyses présentées ne sont réalisées que dans des laboratoires spécialisés auxquels doivent être adressés systématiquement aujourd'hui les échantillons (Centre opérationnel de réception et de régulation des urgences sanitaires et sociales (CORRUSS, alerte@sante.gouv.fr) ainsi que les deux laboratoires du ministère de la Défense français (DGA Maîtrise NRBC en région parisienne et l'IRBA Santé à Brétigny-sur-Orge. Les analyses réalisées peuvent ainsi être confrontées aux observations cliniques et paracliniques et participer aux études de corrélation précédemment évoquées.

3.4.1. Neurotoxiques organophosphorés

Les organophosphorés sont des inhibiteurs puissants de différentes estérases dont l'acétylcholinestérase, synaptique ou érythrocytaire, (AChE) et la butyrylcholinestérase (BuChE) présente dans le plasma et dans d'autres tissus dont le tissu cérébral. L'essentiel des effets toxiques aigus de ces composés est associé à l'inhibition de l'AChE des synapses nerveuses. A défaut d'un accès facile aux enzymes synaptiques, le dosage des activités cholinestérases (sur sang total) ou séparément des activités AChE (dans des préparations de globules rouges) ou BuChE (dans le plasma) s'est rapidement développé au moyen de différentes approches [46].

Période de détection courte (min-h)				
Nom de l'agent	Ce qui est dosable	Matrice	Validation chez l'homme	Références
Tabun (GA)	Toxique natif Acides méthylphosphoniques alkylé (DMAEPA : diméthylamidoéthylphosphate) et désalkylé (MEP : monoéthylphosphate)	? Urines	? Non	? [53]
Sarin (GB)	Toxique natif Acides méthylphosphoniques alkylé (IMPA : acide isopropylméthylphosphonique) et désalkylé (MPA : acide méthylphosphonique)	Sang Urines	Non Oui	[62] [56]
Soman (GD)	Toxique natif Acides méthylphosphoniques alkylé (PMPA : acide pinacolylméthylphosphonique) et désalkylé (MPA)	Sang, LCR Urines	Non Non	[54] [56]
Cyclohexylsarin (GF)	Toxique natif Acides méthylphosphoniques alkylé (CHMPA : acide cyclo-hexylméthylphosphonique) et désalkylé (MPA)	Sang Urines	Non Non	[19] [60]
A4 ou VX	Toxique natif Acides méthylphosphoniques alkylé (EMPA acide éthyl-méthyl-phosphonique) et désalkylé (MPA) Diisopropylaminoethanethiol (DPAT ou DAET) (Diisopropylaminoethyl) méthyl sulfide (DAEMS)	Sang, tissus Urines Sang Sang	Non Oui Non Oui	[64] [59] [66] [56] [17] [63]
Période de détection moyenne (j)				
Tabun (GA)	Phosphonofluoridate Adduits sur résidus tyrosine Nonapeptide phosphylé	Sang Sang Sang	Non Non Non	[52] [55] [21] [65]
Sarin (GB)	Phosphonofluoridate Acides méthylphosphoniques alkylé (IMPA) et désalkylé (MPA) Adduits sur résidus tyrosine Nonapeptide phosphylé	Sang, Tissus Sang Sang Sang	Oui Oui Non Non	[52] [25] [55] [56] [50], [67] [58], [65]
Soman (GD)	Phosphonofluoridate Acides méthylphosphoniques alkylé (PMPA) et désalkylé (MPA) Adduits sur résidus tyrosine Nonapeptide phosphylé	Sang, Tissus Sang Sang Sang	Non Non Non Non	[25] [51] [55] [56] [50], [67] [58], [65]
Cyclohexylsarin (GF)	Phosphonofluoridate Acides méthylphosphoniques alkylé (CHMPA) et désalkylé (MPA) Adduits sur résidus tyrosine Nonapeptide phosphylé	Sang Sang Sang	Non Non Non	[52] [55] [60] [67] [65]
A4 ou VX	Phosphonofluoridate Acides méthylphosphoniques alkylé (EMPA) et désalkylé (MPA) Adduits sur résidus tyrosine Nonapeptide phosphylé	Sang Sang Sang Sang	Oui Oui Non Non	[52] [55] [57] [61] [56] [63] [67] [58], [65]

Tableau 1 Biomarqueurs d'exposition à des neurotoxiques organophosphorés. LCR : liquide céphalo-rachidien. La colonne « validation chez l'homme » indique seulement l'application de la technique sur des spécimens d'individus intoxiqués.

Ces analyses sont réalisables dans de nombreux laboratoires même modestement équipés. La détermination de l'activité BuChE plasmatique met en évidence une exposition mais ne permet pas forcément de prédire la toxicité et ne sert pas au suivi de l'efficacité thérapeutique d'un traitement par une oxime réactivatrice [47 ; 48]. En effet, la BuChE est beaucoup plus difficile à réactiver. D'une utilisation moins courante, la mesure de l'activité AChE globulaire est généralement considérée comme un meilleur reflet de l'inhibition synaptique. De nombreuses études corrélant les signes cliniques et l'inhibition de l'enzyme globulaire existent, y compris chez l'homme [49]. Ces déterminations d'activités enzymatiques cependant ne peuvent ni différencier une intoxication par un organophosphoré d'une intoxication par un autre inhibiteur (ex. carbamate) ni identifier l'agent organophosphoré en cause. Plus récemment, pour répondre notamment à cette exigence d'identification, se sont développées différentes approches analytiques destinées à mettre en évidence et quantifier le toxique natif, des métabolites ou des analytes provenant de la transformation chimique

de biomolécules ayant réagi avec les toxiques. Les différents biomarqueurs utilisés sont regroupés dans le tableau I.

En pratique les marqueurs sanguins et urinaires sont les plus recherchés. Dans les autres matrices la recherche est plus souvent expérimentale.

3.4.1.1. Marqueurs sanguins

Les agents G disparaissent très vite du sang et leur détection n'est possible que si un prélèvement sanguin est effectué très rapidement. Les agents V comme le VX ont une présence plus longue (tableau I).

Pour les agents des deux familles, des produits d'hydrolyse sont également détectables dans le sérum. Les adduits entre le NOP et la BuChE sont utilisés dans deux approches :

- libération de la molécule de NOP à partir de l'enzyme par une réactivation à l'aide de fluorures ; cette réaction donne naissance à des phosphonofluoridates qui renseignent voire permettent l'identification du toxique en cause.
- digestion *in vitro* de l'enzyme par la pepsine pour obtenir un nonapeptide caractéristique, contenant le résidu sérine phosphorylé du site actif de l'enzyme.

Ces adduits sont les biomarqueurs les plus persistants (1/2 vie 8-12 jours – expérimentalement, ils ont pu être détectés 3 à 5 semaines après l'intoxication) et la forte concentration de l'enzyme dans le plasma est un avantage certain. Toutefois, ils présentent certains inconvénients : le départ du NOP du site actif par un mécanisme d'hydrolyse soit spontané (la réactivation spontanée de l'enzyme inhibée par le VX est bien connue mais elle est lente) soit provoqué par l'utilisation d'une oxime réactivatrice lors du traitement, ou les réarrangements associés à la désalkylation du toxique connus sous le nom de vieillissement de l'enzyme qui interdisaient toute possibilité de régénération par les fluorures. Cette dernière limitation a semble-t-il été levée par un changement de protocole analytique mais la désalkylation réduit toujours la possibilité d'identification certaine du toxique.

Les NOP réagissent également avec d'autres protéines aux propriétés de biomarqueur potentiel : en particulier la liaison covalente avec l'albumine plasmatique au niveau d'un résidu tyrosine. Cet adduit est assez stable, au moins dans le cas du sarin et du soman. Des adduits avec la tyrosine appartenant à d'autres protéines sont possibles. Il n'y a pas de réaction de vieillissement pour les adduits NOP-Albumine, ce qui autorise une réactivation par les fluorures, même dans le cas du soman qui subit normalement une désalkylation très rapide. Un traitement par oxime réactivatrice n'apparaît pas non plus influencer de façon majeure ce biomarqueur qui paraît plus facile à détecter dans le cas des agents G.

3.4.1.2. Marqueurs urinaires

Le dosage des métabolites urinaires est sensible et spécifique. Mais, selon le niveau d'exposition, ils ne sont détectables que dans une fenêtre temporelle qui va de quelques heures à quelques jours. Dans le cas du tabun, les métabolites ne sont pas stables et le dérivé final formé n'est pas spécifique de l'agent.

3.4.2. Agents vésicants

Contrairement aux organophosphorés, aucune technique n'est utilisée en routine pour la mise en évidence d'un contact avec ces agents (Tableau II). Même si certains métabolites urinaires comme le thiodiglycol ou la forme sulfoxyde de l'ypérite, sont aisément détectables, ils ne permettent pas de confirmer une exposition faible à l'ypérite car ils peuvent être normalement présents. Ce n'est pas le cas des métabolites formés par la voie de la β -lyase qui peuvent être ainsi préférables. L'ypérite native disparaît assez vite après pénétration dans le sang mais certains travaux récents suggèrent la présence de lieux de stockage d'où le toxique peut être libéré lentement dans l'organisme.

Période de détection courte (min-h)				
Nom de l'agent	Ce qui est dosable	Matrice	Validation chez l'homme	Références
Ypérite (HD, moutarde au soufre)	Ypérite	Sang, Tissus	Non	[78]
	Adduits HD/N7-HETE-Guanine	Urine	Non	[73], [70]
Lewisite (L)	Acide 2 chlorovinyl arsenieux (CVAA, produit principal d'hydrolyse de la lewisite)	Urine, Sang	Non	[81] [71], [68]
Moutardes à l'azote (HN1, HN2, HN3)	Métabolites (respectivement EDEA, MDEA, TEA)	Urines	Non	[74]
Période de détection moyenne (j)				
Ypérite (HD, moutarde au soufre)	Thiodiglycol (TDG), thiodiglycol sulfoxyde (TDGO)	Urine	Oui	[79]
	Adduits HD/glutathion métabolisés par β -lyases	Urine	Oui	[69]
	Adduits HD/N7-HETE-Guanosine	Sang / tissus	Oui	
Moutarde à l'azote HN2	Adduit HN2/N7-HETE-Guanosine	Sang	Non	[80]
Période de détection longue (mois)				
Ypérite (HD, moutarde au soufre)	Adduits HD/protéines (hémoglobine, albumine...)	Sang	Oui	[76] [75] [72]
Lewisite (L)	Adduit L/hémoglobine	Sang	Non	[71]
Moutarde à l'azote HN2	Adduit HN2/albumine	Sang	Non	[77], [76]

Tableau II Biomarqueurs d'exposition à des agents vésicants. La colonne « validation chez l'homme » indique seulement l'application de la technique sur des spécimens d'individus intoxiqués. EDEA N-éthyl-diéthanolamine, MDEA N-méthyl-diéthanolamine, TEA triéthanolamine

L'ypérite réagit avec différentes bases de l'acide désoxyribonucléique (ADN). L'espèce majoritairement formée provient de la réaction avec la désoxyguanosine suivie d'un phénomène de dépurination permettant la mise en évidence de la N7-2[(hydroxyéthyl)thio]éthyl-guanine (N7-HETE-guanine).

Apparaissant dans l'urine dans les quelques heures qui suivent l'intoxication, l'adduit y est détectable pendant les deux jours qui suivent. Cet adduit peut être dosé également dans le sang et les tissus comme la peau pendant un temps beaucoup plus long (une vingtaine de jours après un contact). Enfin, la réaction entre l'ypérite et des protéines sanguines comme l'hémoglobine (sur la valine N-terminale ou l'histidine) ou l'albumine (sur une cystéine) permet d'obtenir des adduits de durée de vie longue (environ 120 jours pour l'hémoglobine par exemple). Certains des adduits formés avec l'albumine ou l'hémoglobine (sur les résidus acide glutamique et acide aspartique) sont quantifiables via la libération de thiodiglycol.

3.4.3. Autres toxiques

Parmi les autres toxiques envisagés, deux ensembles peuvent être différenciés. Le groupe des suffocants (phosgène, chlore et chloropicrine) ont fait l'objet de peu d'études de biodosimétrie. Ceci peut s'expliquer en partie par le fait que le traitement des intoxications (œdème aigu du poumon) est purement symptomatique et la connaissance de l'agent en cause est d'un intérêt mineur. L'identification de l'agent causal lors des accidents d'exposition à ces produits chimiques principalement industriels ne pose généralement pas de problème (identification préalable). L'acide cyanhydrique est le chef de file des agents cyanés. Les intoxications cyanhydriques sont courantes et très tôt, des techniques de dosage ont été mises au point soit dans un but médico-légal soit dans un but d'aide au clinicien. La demi-vie sanguine du cyanure étant de l'ordre d'une heure, le prélèvement sanguin doit être réalisé précocement et si possible avant la mise en place du

traitement antidotique. Le tableau III rapporte deux approches analytiques récentes mais les techniques usuelles restent d'actualité (elles ne doivent cependant pas retarder le traitement). Bon indicateur de la gravité de l'intoxication, la lactatémie semble aujourd'hui le biomarqueur de choix.

Nom de l'agent	Ce qui est dosable	Matrice	Références
Phosgène (CG)	Adduits CG/protéines (hémoglobine, albumine...)	- Sang	[85]
Chloropicrine (PS)	Chloropicrine	- Tissus	[84]
Chlore	Adduits sur tyrosine	- Tissus pulmonaires	[86]
Agents cyanés	Cyanures	- Sang	[82] [83]

Tableau III Biomarqueurs d'exposition à des agents suffocants (phosgène, chloropicrine et chlore) et cyanés

4. Terrorisme et agressions ou actes malveillants biologiques

L'origine des maladies infectieuses est établie depuis les découvertes pasteuriennes du XIX^e siècle. Les microorganismes, agents étiologiques de ces maladies, sont très divers et variés (bactéries, virus, champignons). Ils sont pour la plupart connus sauf en cas d'émergence d'un nouvel agent infectieux ou d'un agent possédant des caractéristiques particulières de résistance aux traitements antibiotiques, antiviraux ou aux vaccins. Au plan de la santé publique, l'émergence d'une épidémie peut prendre la tournure d'une urgence sanitaire lorsqu'elle s'étend rapidement dans une population et qu'il faut maîtriser son extension. La dissémination intentionnelle de microorganismes infectieux a été comprise dès les découvertes de la microbiologie. Dès le début du XX^{ème} siècle, des programmes d'armement biologique ont été conduits dans la plupart des pays développés avec, pour certains d'entre eux, une ampleur qui a suscité la stupéfaction voire l'incrédulité [87 ; 88 ; 89].

L'émergence des nouvelles technologies du génie génétique, de la bioinformatique et de la communication par Internet, crée une situation inédite dont les risques pour la biosécurité, la biosûreté et le « double usage », doivent être analysés en permanence. Au début des années 1980, le bioterrorisme a émergé à son tour avec la volonté d'individus ou de sectes de disséminer de façon délibérée des maladies infectieuses pour désorganiser et déstabiliser des états démocratiques. Dans le cadre d'élections, l'attentat de la secte Rajneesh³ dans une petite ville du comté de Wasco dans l'Oregon, the Dalles (USA), constitua en 1984 une première attaque d'envergure qui se manifesta par des cas simultanés de gastro-entérites chez des personnes ayant dîné dans plusieurs restaurants. Une souche de *Salmonella typhimurium* a été identifiée dans des crudités et des salades. Au total, le bilan s'est élevé à 751 malades dont 42 hospitalisés. Quelques années plus tard la secte Aum Shinrikyo⁴, avant l'emploi du sarin dans le métro de Tokyo en 1995, avait mis sur pied, sans résultat, des projets d'attentats avec le bacille du charbon et la toxine botulique et même au moyen d'une souche du virus Ebola qu'une mission aurait rapportée du Zaïre. Peu après les attentats du 11 septembre 2001, le 2 octobre 2001, un homme de 63 ans était hospitalisé au service d'urgence d'un centre médical de Floride dans un état sévère avec fièvre et désorientation, rendant nécessaire une assistance respiratoire. Le 4 octobre, les laboratoires identifiaient *Bacillus anthracis*, agent de la maladie du charbon, chez ce patient

³ Agrégé de philosophie, **Rajneesh Chandra Mohan Jain** mit au point un mode de méditation dynamique à but cathartique qui fit beaucoup d'adeptes à partir des années 1970-80. Sa secte se développa principalement en Orégon aux USA. L'affaire entraîna la disparition de la communauté et l'arrestation du Gourou.

⁴ Atelier de Yoga créé en 1984 par Shoko Asahara qui devient la secte Aum Shinrikyō en 1987 avec statut officiel d'organisme religieux en 1989 et le soutien du Dalaï Lama. Son idéologie est d'inspiration bouddhiste avec des ajouts hindouistes et apocalyptiques chrétiens ou empruntés au « new age » et à Nostradamus. En 1990, elle fonde le parti de la vérité *Shinri tō* en vue des élections et avec le but de changer la société japonaise et de provoquer un Armageddon auquel ne survivrait que la secte.

qui décédait le lendemain malgré l'antibiothérapie et les soins intensifs. Une attaque bioterroriste était immédiatement suspectée. En effet plusieurs enveloppes contenant le bacille du charbon avaient été envoyées à la rédaction d'un journal et au Sénat américain provoquant une crise de grande ampleur aux Etats-Unis suivie d'une vague d'alertes à la bombe bactériologique en Europe, et en France en particulier [90]. Cette dissémination intentionnelle de spores de charbon dans le courrier a valu aux Etats-Unis 22 cas de charbon (11 cutanés et 11 respiratoires) dont 5 décès. Le génotypage a identifié l'origine américaine de la souche en cause, mais l'enquête « Amerithrax » a été longue et difficile. Ce n'est qu'après le suicide de Bruce Ivins, en juillet 2008, que le FBI a conclu sur des « preuves circonstanciées » que ce scientifique de l'Institut de recherche de l'armée américaine sur les maladies infectieuses était l'auteur des attaques de 2001 et avait agi seul.

Face à une urgence sanitaire, d'une origine naturelle, accidentelle ou malveillante, l'approche scientifique et médicale est un élément essentiel de la protection : identifier l'agent pathogène en cause, développer des outils de diagnostic, valider le traitement et la prévention [91 ; 92]. Elle met en jeu tous les acteurs de la santé : réseaux des laboratoires et des hôpitaux, cellules régionales d'intervention épidémiologique, veille sanitaire, Centre européen de prévention et de contrôle des maladies (ECDC), Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Mais dès qu'une suspicion de l'origine intentionnelle est avancée, et cela peut être très tôt dans l'apparition d'une urgence sanitaire, ce sont les moyens interministériels qui entrent en œuvre dans le cadre des plans d'urgence : police, gendarmerie, services de secours, défense, justice, agriculture. Face à un événement suspect d'attaque bioterroriste, la police scientifique doit jouer un rôle majeur pour participer à l'identification de l'agent pathogène et pour tracer l'origine malveillante.

4.1. Plan Pirate NRBC versant Biotox

Le versant Biotox du plan gouvernemental Pirate NRBC organise la conduite de l'action gouvernementale, depuis la pré-alerte jusqu'au déclenchement du plan, dans le but d'assurer la sauvegarde des populations : cela signifie prévenir, surveiller, alerter et intervenir. Nous avons dit ci-dessus qu'il s'appuie sur des moyens communs à vocation interministérielle : un réseau d'experts, un réseau de laboratoires doté d'un conseil scientifique, une base de données centralisée à la Cellule nationale de conseil (CNC) du ministère de l'Intérieur, un dispositif plis et colis suspects et un dispositif hospitalier.

Le réseau de laboratoires Biotox-Piratox permet de répondre aux besoins analytiques dans les situations d'alerte ou d'agression biologique ou chimique. Chaque zone de défense dispose ainsi d'un centre hospitalier référent pour la prise en charge des patients exposés, et d'un laboratoire référent pour l'identification des agents présents dans des objets et colis suspects. A chaque laboratoire référent d'une zone de défense sont associés d'autres laboratoires permettant de disposer d'un spectre complet de capacités analytiques.

Ce réseau des laboratoires, fondé en 2003, a depuis été amélioré et renforcé [93]. Son organisation et son fonctionnement ont été redéfinis en 2009 par le SGDN [94]. Ce réseau est constitué de deux sous-ensembles disposant de domaines de compétence distincts : échantillons humains d'une part, échantillons environnementaux, alimentaires et vétérinaires d'autre part. Les laboratoires sont organisés selon trois niveaux d'expertise.

Les laboratoires de niveau 1 (laboratoires « sentinelles »), auxquels sont essentiellement dévolues les fonctions de recueil d'échantillons et d'acheminement de ceux-ci vers les laboratoires de niveau 2, dans des conditions de sécurité adéquates.

Les laboratoires de niveau 2 réalisent des analyses de biologie ou de toxicologie dans le cadre de leurs activités quotidiennes. Ils appartiennent généralement à des réseaux spécialisés (laboratoires des CHU, laboratoires d'analyses d'eau, laboratoires vétérinaires, laboratoires des ministères de la Défense ou de l'intérieur). Ils sont dotés de capacités d'analyses rapides leur permettant de réaliser une identification présomptive des agents en cause dans un délai réduit.

Les laboratoires de niveau 3 sont des laboratoires à compétence nationale, à vocation de contrôle et de confirmation des analyses réalisées par les autres établissements.

4.2. Agents biologiques potentiels [95 ; 89]

4.2.1. Diversité des agents biologiques

Le monde biologique est varié par nature et un grand nombre d'organismes vivants sont naturellement susceptibles de provoquer des pathologies chez l'homme. Parmi ceux-ci, tous ne sont cependant pas réellement candidats pour une utilisation agressive, du fait de leurs caractéristiques.

Leur emploi potentiel comme arme a été formalisé dans les années 1940 par Theodore Rosebury, scientifique participant au programme américain d'armes biologiques. Les « Critères de Rosebury » sont toujours applicables pour évaluer la menace biologique (tableau 4).

Les critères de Rosebury

- faible seuil infectieux,
- virulence forte et capacité de provoquer une maladie aiguë, mortelle ou incapacitante,
- pouvoir pathogène stable pendant la fabrication, le stockage et le transport,
- période d'incubation courte,
- faible contagiosité réduisant le risque de choc en retour contre l'attaquant,
- absence protection dans la population cible (vaccin ou d'immunité naturelle), associée à une protection possible pour l'agresseur (protection physique ou prophylaxie)
- résistance aux antibiotiques utilisés en première intention,
- capacité à résister à l'aérosolisation,
- capacité à résister dans l'environnement pendant un temps assez long pour infecter la population cible,
- transport facile et capacité à survivre lors du stockage et de la dispersion,
- production possible à grande échelle à faible coût

Tableau 4 Critères d'évaluation de la menace selon Théodore Rosebury

Le groupe Australie qui regroupe des pays partageant des positions similaires vis-à-vis du bio-terrorisme et qui luttent contre la prolifération et pour le désarmement biologique, réactualise cette liste en permanence. [<http://www.australiagroup.net/en/index.html>]

Les différentes nations et organisations internationales ont ainsi développé des listes d'agents potentiels de la menace, assorties d'une hiérarchisation des priorités dans les efforts de développement de contremesures appropriées. Il n'existe pas de liste universellement admise, même si toutes regroupent les mêmes agents principaux. Le groupe « Australie » a également publié sa propre liste.

Aux U.S.A., après les événements de 2001, les CDC (Centers for Diseases Control and Prevention) ont édicté une classification des agents biologiques en trois catégories, en prenant en compte la menace qu'ils représentent et les contremesures. <http://www.bt.cdc.gov/bioterrorism/> Cette liste, même si elle est à usage interne aux U.S.A., est souvent prise comme référence et fournit un aperçu de la diversité de la menace (tableau 5).

Classification des CDC (U.S.A.)	
Catégorie A	agents biologiques considérés comme les plus dangereux et qui présentent de grands risques pour la santé publique. Les contre-mesures vis-à-vis de ces agents (surveillance, diagnostic, prise en charge et prévention) sont considérées comme prioritaires en termes de santé publique.
Catégorie B	agents biologiques moins faciles à disséminer, ayant un moindre potentiel de morbidité et de mortalité, mais qui nécessitent cependant une surveillance spécifique.
Catégorie C	agents émergents qui pourraient être choisis dans le futur comme agents de bioterrorisme en raison de leur facilité de production et de dissémination et de leur impact sur la santé publique

Tableau 5 Classification des agents biologiques selon les Centers for Diseases Control and Prevention

En France, les principaux agents de la menace (tableau 6) font l'objet de publications par le Ministère de la santé, notamment des fiches biotox de prise en charge thérapeutique qui sont des guides destinés aux professionnels habilités à appliquer les instructions du plan biotox ainsi que des fiches biotox médicaments destinées aux personnes potentiellement exposées à un agent biologique et pour lesquelles un traitement a été prescrit. Ces fiches sont publiées par l'Agence nationale française de sécurité sanitaire des produits de santé et disponibles sur internet. [96]

Catégorie A	Catégorie B	Catégorie C
Bactéries		
Bacillus anthracis (charbon) Yersinia pestis (peste) Francisella tularensis (tularémie)	Brucella spp. (brucellose) Burkholderia mallei (morve) B. pseudomallei (mélarioïdose) Coxiella burnetii (fièvre Q) Rickettsia prowazeki (typhus) Vibrio cholerae (choléra) Salmonella enterica (salmonelloses) Shigella dysenteriae (dysenterie bacillaire) Escherichia coli O 157 : H7	Mycobacterium tuberculosis multirésistant (tuberculose)
Virus		
Variola major (varirole) Filoviridae (Marburg, Ebola) et Arenaviridae (Lassa, Junin, Machupo) (fièvres hémorragiques virales)	Alphavirus (virus des encéphalites équine)	Agents viraux émergents: hantavirus, virus Nipah, virus des fièvres hémorragiques à tiques, Virus de la fièvre jaune
Toxines		
Toxines botuliques de Clostridium botulinum (botulisme)	Ricine Entérotoxine B staphylococcique Toxine de Clostridium perfringens	
Champignons		
	Cryptosporidium parvum (cryptosporidiose)	

Tableau 6 Principaux agents biologiques de la menace selon la Classification CDC

4.2.2. Exemples d'agents biologiques

4.2.2.1. Bacille du charbon

Le bacille du charbon représente un des principaux agents potentiels d'agression biologique car il est très pathogène par voie respiratoire et se présente sous forme de spores très résistantes à la chaleur, à la dessiccation et aux rayonnements ultraviolets [9]. Il a été militarisé par le Royaume-Uni en 1942 après des essais dans l'île de Gruinard, aux Etats Unis dans les années 1950, en Union Soviétique dans le complexe militaro-industriel Biopreparat, et en Iraq en 1985 (missiles SCUD et bombes). C'est ce bacille qui est en cause dans les 22 cas de charbon observés aux Etats-Unis en octobre 2001 (voir ci-dessus). Le traitement est difficile, essentiellement à base d'antibiotiques (quinolones) voire complétés par immunoglobulines spécifiques (anticorps monoclonaux humains recombinants) [97]. [Fiche ANSM n°2 : charbon].

4.2.2.2. Varirole

La varirole a longtemps constitué l'un des pires fléaux infectieux de l'humanité. Le succès de la campagne d'éradication de l'OMS et l'abandon progressif d'un vaccin efficace et peu coûteux mais partiellement dangereux, et la découverte d'un programme russe secret de militarisation de la varirole, font craindre la possible mise à disposition de la souche virulente à des pays proliférants ou à des groupes terroristes. La mortalité induite par ce virus serait de 30% à 50% chez les personnes non vaccinées et de 10% chez les sujets vaccinés depuis plus de 20 ans. L'emploi du virus de la varirole représente un risque faible mais il serait désastreux. La forte contagiosité, les moyens diagnostiques, prophylactiques et thérapeutiques encore limités dans les hôpitaux rendraient rapidement difficilement contrôlable l'extension de l'épidémie. [Fiche ANSM n°7 : varirole]

4.2.2.3. *Toxines botuliques*

Etant donné leur activité biologique élevée, les neurotoxines botuliques sont potentiellement utilisables. La toxine botulique constitue le poison le plus puissant (dose létale chez l'homme : 1 ng par kg) parmi toutes les toxines d'origine bactérienne, végétales, animales et les toxiques chimiques : 30 000 fois plus que la ricine, et 10^7 fois plus que le cyanure de sodium. Sa dangerosité est aussi liée à l'absence de vaccination de masse de la population contre le botulisme et à l'inexistence de traitement spécifique efficace. La préparation de stock de toxine botulique brute, non purifiée, peut être réalisée par fermentation d'une souche toxigène sauvage dans des milieux de culture de fabrication artisanale.

La voie orale, principale porte d'entrée dans les formes naturelles de botulisme, est le plus souvent envisagée par le bioterrorisme (eau potable, chaîne alimentaire), mais l'aérosol est une alternative possible (l'Iraq, par exemple, disposait de stocks de toxine botulique militarisée sous forme de bombes R400 et de missiles Al Hussein). [Fiche ANSM n°8 : toxine botulique]

4.2.2.4. *Peste*

Yersinia pestis, agent de la peste, est très infectieux et contagieux par voie aérienne. Il a été militarisé par les japonais entre 1932 et 1945 sous forme de bombes en porcelaine contenant des puces infectées. Dans les années 1950, les américains ont étudié la possibilité d'« aérosoliser » le bacille pesteux, puis l'Union soviétique a cherché à développer la production de souches résistantes aux antibiotiques. Des souches naturellement multi-résistantes ont été récemment décrites à Madagascar. [Fiche ANSM n°3 : peste]

4.2.2.5. *Tularémie*

Francisella tularensis, agent de la tularémie, a été un des nombreux agents étudiés par les japonais entre 1932 et 1945. Les américains en ont envisagé l'usage entre 1950 et 1960 sous forme d'aérosols en même temps que le développement de vaccins. La Russie, parallèlement, et encore récemment, a cherché à développer la production de souches résistantes aux antibiotiques. La dispersion aérienne de *F. tularensis* pouvant provoquer un grand nombre de malades pendant plusieurs semaines voire mois, ce germe est un des agents biologiques potentiels de la menace [98]. [Fiche ANSM n°4 : tularémie]

4.2.2.6. *Ricine*

La ricine est une toxine protéique hydrosoluble présente dans la graine de ricin, *Ricinus communis*, cultivé pour la production industrielle d'huile de ricin dépourvue quant à elle de la toxine. Après extraction de l'huile, les tourteaux subissent un traitement thermique inactivant la toxine et sont utilisés comme engrais ou comme aliment pour bétail. Chaque année l'industrie traite plus d'un million de tonnes de graines. Classée par le CDC d'Atlanta comme agent de catégorie B, la ricine constitue cependant une menace réelle d'autant qu'un extrait brut hautement toxique est relativement facile à produire à partir des graines. Hormis la voie injectable utilisée pour assassiner le dissident bulgare Georgi Markov à Londres en 1978 (injection dans la jambe à l'aide d'un parapluie trafiqué), une diffusion en aérosol constituerait la forme de dissémination la plus toxique. Plus simplement, la ricine pourrait être administrée par voie orale dans de la nourriture ou des boissons, par exemple à l'échelle d'une collectivité.

4.2.2.7. *Fièvres hémorragiques virales (FHV)*

Les virus des FHV constituent d'excellents outils du bioterrorisme (risque de transmission interhumaine, morbidité et mortalité élevées, faible dose infectieuse, grande infectiosité par aérosol, absence de traitement et de prophylaxie facilement disponibles). Ceci est particulièrement vrai pour les virus Crimée-Congo (CCHF), Ebola, Junin, Lassa, Machupo, Marburg, fièvre de la Vallée du Rift, fièvre hémorragique d'Omsk ou fièvre de la forêt de Kyasyanur. Le virus de la fièvre jaune et celui de la fièvre de la vallée du Rift ont été développés comme armes biologiques aux Etats-Unis jusqu'en 1969. Jusqu'en 1992 l'ancienne URSS

a mené des programmes de recherche sur les virus Marburg, Ebola, Lassa, et sur les arenavirus du nouveau monde (Machupo et Junin) à des fins de guerre biologique. Ces derniers virus ont été placés en 1999 dans la catégorie A des agents biologiques à risques de bioterrorisme par le CDC d'Atlanta [99].

[Fiche ANSM n°6 : agents des fièvres hémorragiques virales]

4.2.2.8. *Morve et mélioïdose*

B. pseudomallei et *B. mallei*, génétiquement très proches, sont des bactéries hautement pathogènes. Elles sont classées dans le groupe B de la liste du CDC et présentent un risque d'utilisation par aérosol comme agents létaux sans contagiosité inter-humaine. La dose infectante par voie pulmonaire n'est pas connue mais est probablement faible. Il n'y a pas de vaccin et on ne connaît pas l'efficacité de l'antibioprophylaxie. Ces bactéries sont, comme *Francisella tularensis*, parmi les plus dangereuses à manipuler. *B. mallei* a fait l'objet d'un programme militaire allemand de sabotage visant les chevaux et les mules destinés aux alliés pendant la première guerre mondiale. Ces bactéries ont fait partie des programmes de recherche d'armes biologiques japonais, soviétique et américain. *B. mallei* a été militarisée par le Japon et l'Union Soviétique. L'aérosolisation de ces bactéries peut provoquer une affection pulmonaire aiguë voire fulminante après une courte période d'incubation (5-14 jours). Des formes septicémiques imposent le traitement en soins intensifs avec une poly-antibiothérapie. [Fiche ANSM n°10 : morve et mélioïdose]

4.2.2.9. *Rickettsies*

Les rickettsies ont un haut pouvoir infectieux en dépit de leur absence de contagiosité et sont donc agents potentiels du bioterrorisme. Leur manipulation avait d'ailleurs entraîné de nombreuses contaminations en laboratoires avant l'invention des hottes à flux laminaire. Mais la culture de ces bactéries est très difficile et ne peut être faite comme pour les virus que sur culture cellulaire.

4.2.2.10. *Brucelles*

Les *Brucella* sont classées dans la catégorie B du CDC et considérées comme des agents incapacitants car la brucellose humaine est une maladie sévère et invalidante mais rarement fatale. La voie de contamination aérienne représente la menace majeure d'attaque bioterroriste. En effet, 10 et 100 bactéries suffisent à entraîner une infection incapacitante durant plusieurs semaines chez l'homme mais d'impact limité par l'incubation habituellement très variable de la brucellose, son caractère habituellement asymptomatique, et la quasi absence de transmission inter humaine. Un traitement antibiotique efficace existe chez l'homme mais l'existence de souches résistantes pourrait le mettre en défaut. De telles bactéries ont été militarisées aux Etats-Unis en 1955 sous forme de bombes contenant *Brucella suis* [98]. [Fiche ANSM n°5 : brucellose].

4.3. Techniques de dépistage et d'identification des agents de la menace biologique

Face à une agression biologique, deux types de situations peuvent se présenter : soit il y a une revendication ou une suspicion d'attaque, soit une flambée épidémique suspecte apparaît. Dans le premier cas, il n'y aura pas de symptômes cliniques chez les personnes potentiellement exposées à l'agent infectieux avant plusieurs heures ou plusieurs jours. Il faut donc rechercher sur des prélèvements d'environnement, la présence d'un agent biologique tout en déclenchant une surveillance médicale. Dans le second cas, ce n'est qu'après une prise en charge médicale de malades et la pose d'un diagnostic que sera suspectée ou identifiée l'origine intentionnelle d'une attaque biologique.

De ces deux types de situations découlent pour les laboratoires d'analyses, la réception et le traitement d'échantillons d'environnement (objets divers, prélèvements de sol, de surface, d'eau, d'air, alimentaires)

ou d'échantillons biologiques (sang, liquide céphalorachidien, écouvillonnage, etc.). Les premiers sont traités par des laboratoires de niveau 2 ou 3 du réseau Biotox-Piratox ou éventuellement par des laboratoires de terrain (police, gendarmerie, pompiers) s'ils disposent d'outils de dépistage adaptés. Les seconds sont traités par les laboratoires d'analyses biologiques de ville ou d'hôpital (laboratoires sentinelles de niveau 1, laboratoires des hôpitaux référents zonaux). L'ensemble de ces échantillons vont *in fine* dans les laboratoires de niveau 3 (laboratoires référents et Centres nationaux de référence) pour confirmation. Les laboratoires de police scientifique qui ne font pas partie du réseau des laboratoires Biotox n'ont à analyser des échantillons biologiques que sur réquisition judiciaire.

Les analyses de ces différents échantillons permettent, selon le niveau d'intervention, de déclencher l'alerte et de confirmer ou infirmer l'attaque biologique.

4.3.1. Détection d'alerte et dépistage sur le terrain

Contrairement à la détection des radioéléments ou des toxiques chimiques pour lesquels des moyens existent, la détection d'alerte des agents biologiques pour la surveillance de locaux ou de lieux publics n'en est qu'à l'étape de démonstrations à usage de la défense.

De même, les moyens de dépistage rapide utilisables sur le terrain par les primo-intervenants sont quasi inexistantes, en tout cas encore loin d'être validés par les laboratoires de référence et les experts. Ce domaine très concurrentiel implique une grande vigilance quant aux réelles possibilités des systèmes de dépistage et détection proposés qui doivent être robustes, sensibles et fiables. Ces aspects primordiaux sont liés aux doses généralement infimes, tant infectieuses pour les agents infectieux, que létales pour les toxines. Il y a donc un vaste champ de recherche très actif compte tenu de la demande pressante des acteurs appelés en intervention lors d'événements suspects.

4.3.2. Les prélèvements d'environnement

Quatre types d'échantillons sont à considérer : surface, air, eau, sol et aliment. Les objets suspects, les prélèvements de surface, de terre, de dépôts suspects et d'eau sont à privilégier par rapport aux prélèvements d'air. Un soin particulier doit être apporté dans le recueil (conditions parfaites de stérilité, matériel à usage unique) et un discernement dans le choix de l'échantillon pour qu'il soit significatif et analysable au laboratoire. Les systèmes de prélèvement des surfaces et de l'air ont été développés pour la recherche de la présence de bactéries, de champignons puis de virus.

Les prélèvements de surfaces sont en général réalisés par frottis ou par aspiration au moyen d'écouvillons ou de buvards. Les organismes biologiques sont récupérés par lavage du matériau utilisé avec des solutions salines ou des milieux de culture stériles. Ils peuvent aussi être réalisés à l'aide de boîtes-contacts (bactéries et champignons) mises directement en culture à 32°C ou 37°C. Les conditions opératoires doivent permettre de rapporter le résultat d'analyse à une unité de surface et pour les prélèvements de sol ou de liquides à une unité de masse ou de volume.

Les prélèvements d'air ne sont utiles que pendant peu de temps après le passage d'un aérosol contaminé rapidement balayé en extérieur par les conditions atmosphériques ou les systèmes de traitement. Ils sont classiquement effectués par impaction, filtration ou barbotage. Les systèmes d'impaction permettent de trier les particules biologiques en fonction de leur taille. Les particules sont récupérées sur une surface d'impaction qui peut être un milieu de culture assurant la survie du micro-organisme. Les appareillages de filtration plus adaptés pour la collecte de particules inorganiques, peuvent cependant être utilisés pour le recueil de micro-organismes résistants à la dessiccation comme certains champignons, bactéries capables de sporuler et toxines. Comme pour les prélèvements de surface, les micro-organismes sont recueillis par lavage des filtres à l'aide d'une solution adaptée ou par buvardage sur un milieu de culture solide. Quant au barbotage, il autorise la collecte des particules biologiques contenues dans l'air directement dans un milieu liquide sélectionné en fonction de la nature de l'agent pathogène recherché (bactérie, virus ou toxine). Dans la majorité des cas, ces méthodes concentrent les échantillons et sont calibrées pour pouvoir rapporter les résultats d'analyse à la concentration volumique initiale.

Pour la prise en charge de colis suspects (enveloppes, paquets-poste), il est nécessaire de bien distinguer les enveloppes suspectes, ouvertes par le destinataire, des colis non ouverts susceptibles de contenir des dispositifs piégés d'autre nature que biologique : explosifs, systèmes de dispersion ou d'aérosolisation déclenchés par l'ouverture, déchets ou sources radioactifs, toxiques chimiques liquides ou gazeux. Seule une équipe structurée spécialisée est capable d'écarter ces risques (démineurs, radiobiologistes et chimistes, rarement disponibles sur un même site pour les organismes publics, avec les niveaux de confinement polyvalents permettant ce type d'intervention).

Tous ces prélèvements doivent respecter les bonnes pratiques de microbiologie afin d'éviter toute contamination par des germes présents dans l'environnement ou apportés par le manipulateur lui-même. Les mesures de sécurité habituelles doivent être appliquées, port de combinaison de protection, de gants et de masques FFP2 ou FFP3 capables de protéger contre l'inhalation des particules dont la taille est comprise entre 1 et 5 microns.

4.3.3. Les prélèvements biologiques

Les prélèvements biologiques sont primordiaux dans la démarche diagnostique et sont orientés par le mode de contamination suspecté ou par les signes cliniques observés. Ils sont effectués par des personnes expérimentées en microbiologie clinique (vétérinaires, médecins biologistes, pharmaciens biologistes, techniciens de laboratoires) équipées de tenues de protection adéquates.

En post-exposition suivant immédiatement un aérosol, un écouvillonnage de chaque narine peut être effectué. L'intérêt est limité car s'il est négatif cela ne changera pas la conduite thérapeutique. S'il est positif, il présente un intérêt épidémiologique certain car il est le premier prélèvement à permettre l'isolement de l'agent pathogène utilisé et donc l'orientation de la prophylaxie. Un prélèvement de sang sur tube sec est effectué et le sérum conservé comme référence sérologique pour permettre la recherche ultérieure d'une élévation du titre d'anticorps.

Chez le patient symptomatique, les prélèvements sont orientés par la clinique et rentrent dans une démarche diagnostique qui ne diffère en rien du cadre diagnostic habituel d'un syndrome infectieux (tubes secs de sérum, flacons d'hémoculture).

S'il s'agit de prélèvements sur cadavre humain ou animal (foie, rate, ganglions etc.), l'enquête médico-légale les prend en charge et le laboratoire de bactériologie les met en culture et procède aux mêmes investigations...

4.3.4. Emballage, transport des échantillons

Le transport des prélèvements suspects de contenir des agents biologiques est réalisé sous triple emballage de sécurité conforme à la réglementation en vigueur pour le transport des substances infectieuses (norme ONU 6.2). Ils doivent être identifiés par le sigle « risque biologique/biohazard » sur chaque emballage et porter les mentions de l'adresse du laboratoire de réception, de l'expéditeur et de la personne pouvant être contactée en permanence durant le transport. Ils sont adressés au laboratoire chargé de l'analyse par l'intermédiaire d'un transporteur agréé qui doit accuser réception de l'arrivée des échantillons [100].

4.3.5. Procédure d'accueil, d'analyses et de qualité

Afin de garantir la traçabilité de l'échantillon, il est indispensable de mettre en place un suivi informatique des prélèvements depuis leur arrivée au laboratoire jusqu'au compte-rendu des résultats. Les laboratoires qui pratiquent les analyses d'agents biologiques doivent élaborer des procédures standardisées de traitement des échantillons, assurer une totale sécurité lors des manipulations et adopter une démarche qualité de certification et d'accréditation.

4.4. Identification des agents biologiques⁵

4.4.1. Techniques de dépistage rapide

Lors de la recherche de bactéries, un examen direct à l'état frais et une coloration de Gram peuvent être pratiqués, permettant la détermination de l'aspect général, de la taille, de la mobilité.

4.4.1.1. Recherche d'antigènes (virus, bactéries, toxines)

De nombreux tests immunologiques sont utilisables : immunofluorescence sur lame, tests immuno-chromatographiques, cytométrie de flux, agglutination de particules sensibilisées ou techniques immunochimiques ELISA (Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay), mais encore peu disponibles en kits commerciaux et rarement validées par des laboratoires de référence qui développent eux-mêmes ces outils pour leur propre usage. Dans le cadre de la détection environnementale, seuls les tests utilisant des anticorps dirigés contre un antigène spécifique du micro-organisme à détecter doivent être pris en compte [102 ; 103 ; 104 ; 105 ; 106]. Une technique Elisa utilisant, au lieu d'un anticorps, l'ADN de la séquence cible (séquence de la toxine létale du bacille du charbon située sur pXO1) aurait une sensibilité de quelques pmoles de toxine (33 spores de *Bacillus anthracis*) [107].

4.4.1.2. Détection des acides nucléiques

Les techniques de recherche des acides nucléiques, et notamment l'amplification génique (PCR)⁶, sont actuellement les plus sensibles et les plus spécifiques. Après une étape indispensable d'extraction du matériel génique d'une durée de quelques minutes à deux heures, la PCR permet la détection du génome (ADN ou ARN), des ARN messagers ou des ARN ribosomiaux (voir chapitre IX : microsattellites). Les spores de *Bacillus anthracis* extrêmement résistantes aux agents chimiques d'extraction et aux biocides posent un problème spécifique : elles sont difficiles à lyser pour extraire leur matériel génique. Présentes dans les prélèvements environnementaux, mais absentes des prélèvements cliniques des malades, il est nécessaire de passer par une phase de culture préalable de quelques heures permettant d'obtenir les formes végétatives. La technique de PCR en temps réel a permis de réduire le temps de réalisation de deux heures à 30 minutes sur certains systèmes [108 ; 109 ; 110 ; 111 ; 112]. Certaines publications récentes développent des techniques rapides couplant la séparation immunomagnétique et le pyroséquençage appliquées notamment à *Yersinia pestis* [113]

Quant à la détection des ARN viraux, elle est faite après transcription inverse appelée RT-PCR. Des techniques basées sur la détection précoce des ARN messagers se développent actuellement pour suivre l'expression des gènes très précoces du cycle de réplication.

Dans des conditions de manipulation standardisées, les techniques de PCR en temps réel permettent également d'évaluer le niveau de contamination par des agents infectieux.

4.4.2. Diagnostic de confirmation

Le diagnostic de confirmation repose sur les méthodes phénotypiques traditionnelles qui nécessitent toujours plusieurs jours.

En bactériologie, les échantillons préparés sont inoculés sur des milieux sélectifs ou d'enrichissement selon les procédures en usage au laboratoire. Par principe, on ensemence une gélose trypticase-soja, une gélose au sang et une gélose « chocolat » supplémentée en vitamines. Certaines bactéries exigeantes demandent

⁵ Une revue récente [101] de ces méthodes peut être consultée en ligne.

⁶ PCR cette technique est expliquée au chapitre 9 microsattellites.

des milieux spéciaux comme les milieux enrichis à la cystéine pour *F. tularensis* qui est difficile à cultiver. Le bacille du charbon pousse sur tous les milieux courants, mais le milieu PLET permet l'isolement à partir d'échantillons polymicrobiens et les géloses au sang, la mise en évidence du caractère non hémolytique, élément majeur de l'identification. Les optima de culture sont différents selon les germes recherchés : 37°C pour *B. anthracis*, 28-30 °C pour *Y. pestis*, 37 °C pour *B. pseudomallei* et *B. mallei*, 34 °C pour les *Brucella*. Les cultures sont observées tous les jours et gardées en principe pendant 5 à 7 jours. L'identification définitive requiert des techniques de bactériologie classiques : coloration de Gram, caractères biochimiques, antibiogramme. En cas de culture positive, la conservation des isolats est indispensable. L'identification est toujours difficile car il s'agit de germes peu fréquents en clinique humaine. Des techniques recourant à la spectrométrie de masse en temps de vol couplée à l'adsorption/désorption laser (MALDI-TOF) sont actuellement utilisées avec succès pour l'identification d'isolat de *Yersinia pestis* [114].

En virologie, on fait appel aux techniques PCR et immunologiques. La culture sur cellules est réservée à des laboratoires très spécialisés, notamment pour les virus de classe 4 à un laboratoire de sécurité de niveau 4.

4.4.2.1. Génotypage (voir chapitre IX : microsatellites)

Le génotypage des souches isolées est indispensable car il permet de vérifier le caractère monoclonal des souches isolées et donc de prouver le caractère agressif des isolats. Il permet également par comparaison avec les bases de données existantes de déterminer l'origine géographique des souches, voire de remonter jusqu'au laboratoire responsable de la diffusion. Sur le plan juridique, il peut être un élément de preuve de culpabilité. Les méthodes utilisables sont nombreuses (Ribotypie, RFLP, séquençage) mais il semble qu'actuellement, l'analyse et la comparaison des minisatellites (variable number tandem repeats ou VNTR) soit de plus en plus utilisée pour les bactéries en raison de sa relative facilité de mise en œuvre [115]. Cette technique qui reste l'apanage de laboratoires spécialisés est disponible pour le bacille du charbon [116], la peste [117] et la tularémie [118] voire pour la détection simultanée en temps réel de plusieurs agents pathogènes (*Bacillus anthracis*, *Yersinia pestis*, *Francisella tularensis* [119] et *Coxiella burnetii* [120]) ou associés à plusieurs autres dont *Shigella dysenteriae*, *Salmonella typhi*, *Vibrio cholerae*...) [121]

4.4.2.2. Inoculation à l'animal

L'inoculation à l'animal permet d'affirmer le pouvoir pathogène des souches isolées des prélèvements humains ou d'environnement et complète l'identification de l'agent en cause. Cette technique qui est souvent utilisée après isolement pour évaluer la virulence de la souche reste difficilement accessible à un laboratoire généraliste. Elle exige également les conditions de biosécurité adéquates.

4.4.2.3. Microscopie électronique

Son principal intérêt réside en l'identification des grands genres viraux après culture, afin de guider les techniques immunologique et génétique nécessaires à l'identification de l'espèce. Certaines images (*Filovirus*, *virus Ebola*), sont suffisamment caractéristiques pour permettre l'identification d'un genre ou d'une espèce.

4.4.2.4. Diagnostic sérologique

En l'absence d'isolement de la souche infectieuse, la recherche d'anticorps spécifique d'agents infectieux (sérologie⁷) chez les victimes peut servir de diagnostic de confirmation mais ne pourra mettre en évidence la réalité de l'infection que tardivement. Certaines techniques sérologiques sont d'usage courant en biologie

⁷ Sérologie : identification dans le sérum d'anticorps spécifiques d'un agent infectieux, témoin de l'infection.

clinique, pour le diagnostic de la tularémie par exemple. A l'inverse, pour le diagnostic rétrospectif du charbon, la mise en évidence des anticorps anti-PA et anti-LF n'est réalisable que dans des laboratoires experts.

Le sérodiagnostic est surtout utilisé pour les agents viraux des fièvres hémorragiques et des encéphalites (arbovirus et virus apparentés).

4.4.2.5. Cas particulier des toxines⁸

L'identification des toxines n'est effectuée souvent que dans des laboratoires experts. La mise en évidence des toxines peut se faire par techniques immunologiques : anticorps monoclonaux, ELISA, ou immunochromatographie. L'identification définitive requiert des techniques comme la spectrométrie de masse ou l'inoculation à l'animal qui reste la technique de référence. La ricine a donné lieu à de nombreux essais. Des perspectives semblent s'ouvrir [122].

4.5. Sécurité au laboratoire et manipulation des échantillons

Les échantillons reçus dans le cadre d'une procédure Biotox-Piratox sont susceptibles de présenter des risques radiologiques, chimiques ou biologiques, notamment s'il s'agit de prélèvements environnementaux. De plus, dans le cas d'un colis fermé, les risques pyrotechniques doivent être préalablement écartés de même que l'on doit avoir procédé à la levée de doute vis-à-vis des radioéléments et des toxiques de guerre afin d'assurer la sécurité des personnels et l'intégrité des laboratoires. Cette levée de doute devrait idéalement être réalisée avant le transport par les équipes d'intervention sur le terrain, telles que les cellules spécialisées des SDIS (services départementaux d'incendie et de secours). En pratique, cette levée de doute n'est pas systématiquement réalisée et il convient que les laboratoires soient dotés de moyens de détection appropriés (compteur bêta-gamma, AP2C) afin d'y procéder eux-mêmes.

Concernant les agents biologiques vivants, les mesures de sécurité doivent être adaptées au niveau de risque apporté par les agents de la menace (*voir tableau 7*). Ces agents, hautement pathogènes par principe, appartiennent aux classes 3 et 4 des microorganismes (*voir tableaux 5 et 6 ci-dessus*). A cette classification correspondent des prescriptions techniques réglementaires de confinement qui doivent être appliquées pour la manipulation de ces agents (Arrêté du 16 juillet 2007 [123]). L'identification des agents bactériens ou viraux reste donc le fait de laboratoires spécialisés, dotés d'infrastructures lourdes [124].

Par ailleurs, l'identification d'un agent vivant dans un échantillon nécessite la décontamination du laboratoire et des matériels ayant été en contact avec celui-ci. Les techniques de décontamination sont par nature agressives pour les matériaux et cet aspect doit être pris en compte en cas de manipulation d'échantillons dans des laboratoires non confinés, ou lors d'utilisation d'appareillages non réservés à cet usage.

Les échantillons sont traités dans un laboratoire de sécurité biologique de niveau 3 voire 4 (en cas de suspicion de variole ou d'autres virus de cette classe). Le déconditionnement est effectué sous un Poste de Sécurité Microbiologique de type II (PSM). Le PSM de type II est une hotte dont les flux rentrant et sortant garantissent d'une part la protection du manipulateur et d'autre part la non contamination du prélèvement. Il est nécessaire de faire parvenir au laboratoire des échantillons de petite taille dont les dimensions n'excèdent pas 80 x 40 x 35 cm (L x l x h) et le poids 15 kg.

Les emballages ou les colis sont ouverts jusqu'à accéder à l'échantillon à analyser. Trois prélèvements sont réalisés à partir de chaque échantillon et sont utilisés pour l'analyse proprement dite par le laboratoire, la contre analyse interne et une contre expertise extérieure éventuelle. Ces 2 derniers prélèvements permettent de confirmer le résultat de l'analyse et constituent une preuve en cas de réquisition judiciaire.

⁸ Toxine : substance toxique produite au cours du métabolisme de certains êtres vivants : bactéries, insectes, plantes, animaux marins ou reptiles.

En cas de résultats positifs, les échantillons sont envoyés au Centre National de Référence de l'agent biologique détecté pour le diagnostic définitif.

Classification des microorganismes selon le risque pour l'homme
Groupe 1 : comprend les agents biologiques non susceptibles de provoquer une maladie chez l'homme. Ex.: ferments lactiques, levure de bière
Groupe 2 : comprend les agents biologiques pouvant provoquer une maladie chez l'homme et constituer un danger pour les travailleurs; leur propagation dans la collectivité est peu probable; il existe généralement une prophylaxie ou un traitement efficace. Ex.: <i>Escherichia coli</i>
Groupe 3 : comprend les agents biologiques pouvant provoquer une maladie grave chez l'homme et constituer un danger sérieux pour les travailleurs; leur propagation dans la collectivité est possible, mais il existe généralement une prophylaxie ou un traitement efficace. Ex.: <i>B. anthracis</i> , <i>Y. pestis</i> , <i>F. tularensis</i> , <i>B. pseudomallei</i>
Groupe 4 : comprend les agents biologiques qui provoquent des maladies graves chez l'homme et constituent un danger sérieux pour les travailleurs; le risque de propagation dans la collectivité est élevé; il n'existe généralement ni prophylaxie ni traitement efficace. Ex.: virus Ebola, virus de la variole.

Tableau 7 Classification des microorganismes selon le risque pour l'homme

5. Conclusion et perspectives

Pour confirmer l'exposition à des toxiques chimiques de guerre, qu'elle soit d'origine accidentelle ou liée au terrorisme, les membres du réseau de laboratoires PIRATOX sont activés mais les techniques analytiques usuelles utiles sont en nombre restreint. Les techniques les plus spécifiques de dosimétrie biologique d'exposition sont actuellement développées dans un nombre limité de laboratoires dans le monde dont les deux laboratoires français du ministère de la Défense (DGA maîtrise NRBC et IRBA-CRSSA) qui sont immédiatement contactés tant comme conseils pour les prélèvements que comme destinataires de spécimens biologiques à expertiser.

Avec l'émergence du bioterrorisme depuis vingt ans, les laboratoires de recherche ont progressé considérablement pour détecter et identifier rapidement ce type d'agression dont la probabilité reste faible. Toutefois leurs conséquences pour la sécurité civile et la santé publique sont majeures : risques de panique, de saturation des acteurs de la biodéfense et de désorganisation de la vie sociale et économique... De plus, la grande diversité des agents potentiels et la rareté des méthodes de dépistage et d'alerte rendent la tâche beaucoup plus complexe. La biodéfense s'appuie sur un réseau d'experts, un réseau de laboratoires et un réseau d'hôpitaux référents. L'efficacité optimale de ces laboratoires spécialisés est subordonnée à la pertinence et à la stérilité des prélèvements d'échantillons, à l'intensification des exercices en grandeur réelle pour tous les acteurs et au développement des techniques d'identification des pathogènes dangereux, bactéries, virus et toxines.

6. Bibliographie

1) Plan PIRATE NRBC : une boîte à outils de la gestion de crise.

http://www.sgdsn.gouv.fr/site_rubrique118.html

2) Circulaire interministérielle n° 007/SGDN/PSE/PPS du 8 octobre 2009, relative au dispositif interministériel d'intervention face à la menace ou à l'exécution d'actes de terrorisme nucléaire, radiologique, biologique ou chimique (NRBC)

http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2009/11/cir_29828.pdf

3) Circulaire 700/SGDN/PSE/PPS du 07/11/2008 relative à la doctrine nationale d'emploi des moyens de secours et de soins face à une action terroriste mettant en œuvre des matières chimiques

http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2009/04/cir_1349.pdf

4) Circulaire n° 800/SGDSN/PSE/PPS du 18 février 2011 relative à la doctrine nationale d'emploi des moyens de secours et de soins face à une action terroriste mettant en œuvre des matières radioactives.

http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2011/03/cir_32735.pdf

5) Décret n° 2010-51 du 14 janvier 2010 portant création du détachement central interministériel d'intervention technique

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021695821&categorieLien=id>

6) Instruction interministérielle relative à l'organisation et à la gouvernance du réseau national des laboratoires « Biotox-Piratox » du 21 02 2014

<http://circulaire.legifrance.gouv.fr/index.php?action=afficherCirculaire&hit=1&r=38195>

7) Circulaire N° 750/SGDSN/PSE/PPS du 18 février 2011 relative à la découverte de plis, colis, contenants et substances suspectés de renfermer des agents radiologiques, biologiques ou chimiques dangereux.

http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2011/03/cir_32734.pdf

8) Décret n°97-325 du 8 avril 1997 portant publication de la Convention sur l'interdiction de la mise au point, de la fabrication, du stockage et de l'emploi des armes chimiques et sur leur destruction (ensemble trois annexes) faite à Paris le 13 janvier 1993. (JORF du 11 avril 1997).

<http://www.legifrance.gouv.fr/WAspad/UnTexteDeJorf?numjo=MAEJ9730026D>

9) Loi n°94-1098 du 19 décembre 1994 autorisant la ratification de la convention sur l'interdiction de la mise au point, de la fabrication, du stockage et de l'emploi des armes chimiques et sur leur destruction (JORF du 20 décembre 1994)

<http://www.legifrance.gouv.fr/WAspad/UnTexteDeJorf?numjo=MAEX9400017L>

10) Dorandeu F, Blanchet G. Toxiques chimiques de guerre et terrorisme. Méd Catastrophe Urg Collectives, 1998 ; 1 : 161-170.

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1749994>

11) Pita R. Assessing al-Qaeda's chemical threat. International journal of intelligence and counterintelligence, 2007 ; 20 : 480-511.

https://scholar.google.fr/scholar?q=Pita+R.+Assessing+al-Qaeda's+chemical+threat.+International+journal+of+intelligence+and+counterintelligence,+2007+%3B+20+:+480-511.&hl=fr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar&sa=X&ei=AJ-PsVJ2HIMq1UcKzpggN&ved=0CB8QgQMwAA

12) Paillet P, Perrin E. Vimy avril 2001. Urgence Pratique, 2003 ; 58 : 87-88.

13) Journot M. Les CMIC en France. Urgence Pratique, 2003 ; 58 : 65-71.

14) Jal N. La détection des toxiques chimiques. Urgence Pratique 2003; 58 : 51-54.

15) Bellier, B., Ricordel, I., Renaudeau, C., Détection et identification des agressifs chimiques. In: de Revel, T., Gourmelon, P., Vidal, D. and Renaudeau, C. (Eds.), Menace terroriste - approche médicale John Libbey Eurotext, Montrouge. 2005: 389-400.

16) Goullé JP et al. Biomarqueurs de toxicité et anomalies métaboliques dans les principales intoxications graves. Symptomatologie clinique et toxique. Le prélèvement conservatoire. Ann Biol Clin, 2003 ; 61 : 421-433

<http://hdl.handle.net/2268/17483>

17) Bonierbale E, Debordes L, Coppet L. Application of capillary gas chromatography to the study of hydrolysis of the nerve agent VX in rat plasma. J Chromatogr B. 1997 ; 688 : 255-64.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9061463>

18) Smith JR. Analysis of the enantiomers of VX using normal-phase chiral liquid chromatography with atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry. J Anal Toxicol. 2004 ; 28 : 390-2.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15239861>

19) Reiter G, Koller M, Thiermann H, Dorandeu F, Mikler J, Worek F. Development and applications of procedures for the highly sensitive quantifications of cyclosarin enantiomers in hemolyzed swine blood samples. J Chromatogr B, 2007; 859 : 9-15.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17888747>

20) D'Agostino PA, Hancock JR, Chenier CL. Packed capillary liquid chromatography-electrospray ionization (tandem) mass spectrometry of mustard hydrolysis products in soil. *J Chromatogr A*, 2004; 1058 : 97-105.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15595656>

21) D'Agostino PA, Hancock JR, Chenier CL. Mass spectrometric analysis of chemical warfare agents and their degradation products in soil and synthetic samples. *J Mass Spectrom*. 2003 ; 9 : 609-18.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15100471>

22) D'Agostino PA, Hancock JR, Provost LR. Determination of sarin, soman and their hydrolysis products in soil by packed capillary liquid chromatography-electrospray mass spectrometry. *J Chromatogr A*. 2001; 912 : 291-9.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11330798>

23) Jakubowski EM, Heykamp LS, Durst HD, Thomson SA. Preliminary studies in the formation of ethyl methylphosphonofluoride from rat and human serum exposed to VX and treated with fluoride ion. *Anal Lett*. 2001 ; 34 : 727-37.

24) Bartosova L, Bielavska M, Bajgar J. Detection of sarin in plasma of rats after inhalation intoxication. *J of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*. 2006 ; 21 : 509-14.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=J+of+Enzyme+Inhibition+and+Medicinal+Chemistry.+2006+%3B+21+%3A+509-14>.

25) Adams TK, Capacio BR, Smith JR, Whalley CE, Korte WD. The application of the fluoride reactivation process to the detection of sarin and soman nerve agent exposures in biological samples. *Drug Chem Toxicol*. 2004; 27 : 77-91.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15038250>

26) Hook GL, Kimm G, Betsinger G, Savage PB, Swift A, Logan T, Smith PA. Solid phase microextraction sampling and gas chromatography/mass spectrometry for field detection of the chemical warfare agent O-ethyl S-(2-diisopropylaminoethyl) methylphosphonothiolate (VX). *J Sep Sci*. 2003 ; 26 : 1091-6.

<http://www.riskmanagement.lesliesparks.com/library/VirtualLibrary/hooketal2003.pdf>.

27) D'Agostino PA, Chenier CL, Hancock JR, Jackson Lepage CR. Desorption electrospray ionisation mass spectrometric analysis of chemical warfare agents from solid-phase microextraction fibers. *Rapid Commun Mass Spectrom*. 2007 ; 21: 543-9.

<http://pubs.drdc.gc.ca/PDFS/unc70/p527311.pdf>)

28) Lee HSN, Basheer C, Lee HK. Determination of trace level chemical warfare agents in water and slurry samples using hollow fibre-protected liquid-phase microextraction followed by gas chromatography-mass spectrometry. *J Chromatogr A*, 2006 ; 1124 (1-2) : 91-96. (voir supra 4ème citation)

<http://libra.msra.cn/Publication/22750218/determination-of-trace-level-chemical-warfare-agents-in-water-and-slurry-samples-using-hollow>

29) Chaudot X, Tambuté A, Caude M. Selective extraction of hydrocarbons phosphonates and phosphonic acids from soils by successive supercritical fluid and pressurized liquid extractions. *J Chromatogr A*. 2000 ; 866 : 231-40.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10670813>

30) Shen Z, Sandhu G, Li D, Bara CE, Waldrup SB, Siddiqui S, Dillon CR, MacIver BK, McHugh MA. Solubility of chemical warfare agent simulants in supercritical carbon dioxide : experiments and modeling. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2004 ; 30 : 273-80.

31) Savel'eva E.I., Radilov A. S., Kuznetsova T. A., and Volynets N. F.. Determination of methylphosphonic Acid and Its Esters as Chemical Markers of Organophosphorus Chemical Warfare Agents. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2001 ; 74 (10) : 1722-7.

<http://www.springerlink.com/content/k5yhc8e5ypqvplh4/fulltext.pdf>

32) Muir B, Quick S, Slater BJ, Cooper DB, Moran MC, Timperley CM, Carrick WA, Burnell CK. Analysis of chemical warfare. II. Use of thiols and statistical experimental design for the trace level determination of vesicant compounds in air samples. *J Chromatogr A*. 2005 ; 1068 : 315-26.

33) Spruit HET, Trap HC, Langenberg JP, Benschop HP. Bioanalysis of the enantiomers of (±)-sarin using automated thermal cold-trap injection combined with two-dimensional gas chromatography. *J Anal Toxicol*. 2001; 25 : 57-61.

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11216001?itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_RVDocSum&ordinalpos=1

34) Kaipainen A, Kostianen O, Riekkola ML. Identification of chemical warfare agents I, air samples using capillary column gas chromatography with three simultaneous detectors. *J Microcol Sep*, 1992; 4 : 245-51.

35) Abu-Qare W, Abou-Donia B. Simultaneous analysis of sarin, pyridostigmine bromide and their metabolites in rat plasma and urine using HPLC. *Chromatographia*. 2001 ; 53 : 251-5.

36) D'Agostino PA, Hancock JR, Chenier CL, Lepage CR. Liquid chromatography electrospray tandem mass spectrometric analysis of chemical warfare agents in office media typically collected during a forensic investigation. *J Chromatogr A*. 2006 ; 1110 : 86-94.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16480731>

37) Melanson JE, Wong BLY, Boulet CA, Lucy CA. High-sensitivity determination of the degradation products of chemical warfare agents by capillary electrophoresis-indirect UV absorbance detection. *J Chromatogr A*. 2001 ; 920 : 359-65.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967301006859>

38) Lagarrigue M, Bossée A, Bégos A, Varenne A, Gareil P, Bellier B. Separation and identification of isomeric acidic degradation products of organophosphorus chemical warfare agents by capillary electrophoresis-ion trap mass spectrometry. *J Chromatogr A*. 2006 ; 1137 : 110-8.

<http://academy.chromatographyonline.com/lcgc/article/articleDetail.jsp?id=409527&sk=&date=&pageID=6>

39) Söderström MT, Björk H, Häkkinen VMA, Kostianen O, Kuitunen ML, Rautio M. Identification of compounds relevant to the chemical weapons convention using selective gas chromatography detectors, gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-Fourier transform infrared spectroscopy in an international trial proficiency test. *J Chromatogr A*. 1996 ; 742 : 191-203.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0021967396001823>

40) Söderström MT, Ketola RA. Identification of nerve agents and their homologues and dialkyl methylphosphonates by gas chromatography-Fourier transform infrared spectrometry (GC-FTIR). *Fresenius J Anal Chem*. 1994 ; 350 : 162-7.

41) Söderström MT, Ketola RA, Kostianen O. Identification of some nerve agent homologues and dialkyl methylphosphonates by gas chromatography-Fourier transform infrared spectrometry. *Fresenius J Anal Chem*. 1995 ; 352 : 550-6.

42) Brevett CAS, Sumpter KB, Wagner GW, Rice JS. Degradation of the blister agent sulfur mustard, bis(2-chloroethyl) sulfide, on concrete. *J of Hazard Mater*. 2007 ; 140 : 353-60.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17049727>

43) Koskela H, Grigoriu N, Vanninen P. Screening and identification of organophosphorus compounds related to the chemical weapons convention with 1D and 2D NMR spectroscopy. *Anal Chem*. 2006; 78 : 3715-22.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16737228>

44) Black RM: An overview of biological markers of exposure to chemical warfare agents. *J Anal Toxicol*. 2008; 32 : 2-9.

<http://jat.oxfordjournals.org/content/32/1/2.long>

45) Noort D, Benschop HP, Black RM. Biomonitoring of exposure to chemical warfare agents: a review. *Tox Appl Pharmacol*. 2002 ; 184 : 116-26.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12408956>

46) John H, Worek F, Thiermann H. LC-MS-based procedures for monitoring of toxic organophosphorus compounds and verification of pesticide and nerve agent poisoning. *Anal Bioanal Chem*. 2008 ; 391 : 97-116.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18330546>

46) St Omer VEV, Rottinghaus, GE, 1992. Biochemical determination of cholinesterase activity in biological fluids and tissues. In: Ballantyne, B. and Marrs, T. C. (Eds.), *Clinical and experimental toxicology of organophosphates and carbamates* Butterworth and Heinemann, Oxford, pp. 15-27.

47) Lotti M. Cholinesterase inhibition: Complexities in interpretation. *Clin Chem*, 1995 ; 41 : 1814-18.

48) Eddleston M, Eyer P, Worek F, Sheriff MH, Buckley NA. Predicting outcome using butyrylcholinesterase activity in organophosphorus pesticide self-poisoning. *Qjm*, 2008 ; 101 : 467-474

<http://qjmed.oxfordjournals.org/content/qjmed/101/6/467.full.pdf>

49) Oberst FW, Koon WS, Christensen MK, Crook JW, Cresthull P, Freeman G. Retention of inhaled sarin vapor and its effect on red blood cell cholinesterase activity in man. *Clin Pharmacol Ther* 1968; 9: 421-427

50) Black RM, Harrison JM, Read RW. The interaction of sarin and soman with plasma proteins : the identification of a novel phosphorylation site. *Arch Toxicol*. 1999 ; 73 : 123-6.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10350193>

51) Dabisch PA, Davis EA, Renner JA, Jakubowski EM, Mioduszewski RJ, Thomson SA. Biomarkers of low-level exposure to soman vapor : comparison of fluoride regeneration to acetylcholinesterase inhibition. *Inhal Toxicol*. 2008 ; 20 : 149-56.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18236229>

52) Degenhardt CEAM, Pleijsier K, Van der Schans MJ, Langenberg JP, Preston KE, Solano MI, Maggio VL, Barr JR. Improvements of the fluoride reactivation method for the verification of nerve agent exposure. *J Anal Toxicol*. 2004 ; 28 : 364-71.

<http://jat.oxfordjournals.org/content/28/5/364.long>

- 53) Driskell WJ, Shih M, Needham LL, Barr DB. Quantitation of organophosphorus nerve agent metabolites in human urine using isotope dilution gas chromatography–tandem mass spectrometry. *J Anal Toxicol.* 2002 ; 26 : 6-10.
<http://jat.oxfordjournals.org/content/26/1/6.long>
- 54) Göransson-Nyberg A, Fredriksson SA, Karlsson B, Lundström M, Cassel G. Toxicokinetics of soman in cerebrospinal fluid and blood of anaesthetized pigs. *Arch Toxicol.* 1998 ; 72 : 459-67.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9765060>
- 55) Holland KE, Solano MI, Johnson RC, Maggio VL, Barr JR. Modifications to the organophosphorus nerve-agent-protein adduct refluoridation method for retrospective analysis of nerve agent exposures. *J Anal Toxicol.* 2008; 32 : 116-124
<http://jat.oxfordjournals.org/content/32/1/116.long>
- 56) Kataoka M, Seto Y. Discriminative determination of alkylmethylphosphonate and methylphosphonate in blood plasma and urine by gas chromatography-mass spectrometry after ter-butyltrimethylsilylation. *J Chromatogr B.* 2003 ; 795 : 123-32.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12957176>
- 57) McGuire JM, Taylor JT, Byers CE, Jakubowski EM, Thomson SA. Determination of VX-G analogue in red blood cells via gas chromatography-tandem mass spectrometry following an accidental exposure to VX. *J Anal Toxicol.* 2008 ; 32 : 73-7.
<http://jat.oxfordjournals.org/content/32/1/63.long>
- 58) Noort D, Fidder A, Van der Schans MJ, Hulst AG. Verification of exposure to organophosphates : generic mass spectrometric method for detection of human butyrylcholinesterase adducts. *Anal Chem.* 2006 ; 78 : 6640-4.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16970345>
- 59) Reiter G, Mikler J, Hill I, Weatherby K, Thiermann H, Worek F. Chromatographic resolution, characterisation and quantification of VX enantiomers in hemolysed swine blood samples. *J Chromatogr B.* 2008 ; 873 : 86-94.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18718824>
- 60) Shih ML, Smith JR, Mc Donagle JD *et al.* Detection of metabolites of toxic alkylmethylphosphonate in biological samples. *Biol Mass Spectrom.* 1991; 20 : 717-23.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1799583>
- 61) Solano MI, Thomas JD, Taylor JT, McGuire JM, Jakubowski EM, Thomson SA, Maggio VL, Holland KE, Smith JR, Capacio B, Woolfitt AR, Ashley DL, Barr JR. Quantification of nerve agent VX-butrylcholinesterase adduct biomarker from an accidental exposure. *J Anal Toxicol.* 2008 ; 32 : 68-72.
<http://jat.oxfordjournals.org/content/32/1/68.long>
- 62) Spruit HET, Langenberg JP, Trap HC, Van der Wiel HJ, Helmich RB, Van Helden HPM, Benschop HP. Intravenous and inhalation toxicokinetics of sarin stereoisomers in atropinized guinea pigs. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2000 ; 169 : 249-54.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11133347>
- 63) Tsuchihashi H, Katagi M, Nishikawa M, Tatsuno M. Identification of metabolites of nerve agent VX in serum collected from a victim. *J Anal Toxicol* 1998 ; 22 : 383-8.
<http://jat.oxfordjournals.org/content/22/5/383.long>
- 64) Van der Schans MJ, Lander BJ, Van der Wiel H, Langenberg JP, Benschop HP. Toxicokinetics of the nerve agent (+)-VX in anesthetized and atropinized hairless guinea pigs and marmosets after intravenous and percutaneous administration. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2003 ; 191 : 48-62.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12915103>
- 65) Van der Schans MJ, Fidder A, Van Oeveren D, Hulst AG, Noort D. Verification of exposure to cholinesterase inhibitors : generic detection of OPCW Schedule 1 nerve agent adducts to human butyrylcholinesterase. *J Anal Toxicol.* 2008 ; 32 : 125-30.
<http://jat.oxfordjournals.org/content/32/1/125.long>
- 66) Wetherell JR, Armstrong SJ; Read RW, Clough GF. VX Penetration Following Percutaneous Poisoning: A Dermal Microdialysis Study in the Guinea Pig. *Toxicol Mech & Methods.* 2008 ; 18 : 313-21.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20020896>
- 67) Williams NH, Harrison JM, Read RW, Black RM. Phosphorylated tyrosine in albumine as a biomarker of exposure to organophosphorus nerve agents. *Arch Toxicol.* 2007 ; 81 : 627-39.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17345062>
- 68) Chaudot X, Tambuté A, Caude M. Simultaneous extraction and derivatization of 2-chlorovinylarsenous acid from soils using supercritical and pressurized fluids. *J Chromatogr A.* 2000 ; 888 : 327-33.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10949499>

- 69) Daly JD, Colleen MO, Frame GM. A sensitive method for quantitation of β -lyase metabolites of sulfur mustard as 1,1'-sulfonylbis[2-(methylthio)ethane] (SBMTE) in human urine by isotope dilution liquid chromatography-positive ion-electrospray-tandem mass spectrometry. *J Chromatogr B*. 2007 ; 850 : 120-7.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17161028>
- 70) Fidder A, Noort D, De Jong LPA, Benschop HP, Hulst AG. N7-(2-hydroxyethylthioethyl)-guanine: a novel urinary metabolite following exposure to sulphur mustard. *Arch Toxicol*. 1996 ; 70 : 854-5.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8911645>
- 71) Fidder A, Noort D, Hulst AG, De Jong LPA, Benschop HP. Biomonitoring of exposure to lewisite based on adducts to haemoglobin. *Arch Toxicol*. 2000 ; 74 : 207-14.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10959794>
- 72) Capacio BR, Smith JR, DeLion MT, Anderson DR, Graham JS, Platoff GE, Korte WD. Monitoring sulfur mustard exposure by gas chromatography-mass spectrometry analysis of thiodiglycol cleaved from blood proteins. *J. Anal Toxicol*. 2004; 28 (5): 306-10.
<http://jat.oxfordjournals.org/content/28/5/306.long>
- 73) Langenberg JP, Van der Schans GP, Spruit HE, Kuijpers WC, Mars-Groenendijk RH, Van Dijk-Knijnenburg HC, Trap HC, Van Helden HP, Benschop HP. Toxicokinetics of sulfur mustard and its DNA-adducts in the hairless guinea pig. *Drug Chem Toxicol*. 1998 ; 21 : 131-47.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10028407>
- 74) Lemire SW, Barr JR, Ashley DL, Olson CT, Hayes TL. Quantitation of biomarkers of exposure to nitrogen mustards in urine from rats dosed with nitrogen mustards and from an unexposed human population. *J Anal Toxicol*. 2004 ; 28 : 320-6.
<http://jat.oxfordjournals.org/content/28/5/320.long>
- 75) Noort D, Hilst AG, Trap HC, De Jong LPA, Benschop HP. Synthesis and mass spectrometric identification of the major amino acid adducts formed between sulphur mustard and haemoglobin in human blood. *Arch Toxicol*. 1997 ; 71 : 171-8.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9049054>
- 76) Noort D, Hulst AG, De Jong LPA, Benschop HP. Alkylation of human serum albumin by sulphur mustard in vitro and in vivo : mass spectrometric analysis of cysteine adduct as a sensitive biomarker of exposure. *Chem Res Toxicol*. 1999 ; 12 : 715-21.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10458705>
- 77) Noort D, Hulst AG, Jansen R. Covalent binding of nitrogen mustards to the cystein-34 residue in human serum albumin. *Arch Toxicol*. 2002 ; 76 : 83-8.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11914777>
- 78) Oostdijk JP, Degenhardt CEAM, Trap HC, Langenberg JP. Selective and sensitive trace analysis of sulfur mustard with thermal desorption and two-dimensional gas chromatography-mass spectrometry. *J Chromatogr A*. 2007 ; 1150 : 62-9.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16965787>
- 79) Riches J, Read RW, *et al.*. Analysis of the sulfur mustard metabolites thiodiglycol and thiodiglycol sulphoxide in urine using isotope dilution-gas chromatography-ion trap tandem mass spectrometry. *J Chromatogr B*. 2007 ; 845 : 114-20.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16965944>
- 80) Sperry ML, Skanchy D, Marino MT. High-performance liquid chromatographic determination of N-[2-(hydroxyethyl)-N-(2-(7-guaninyl)ethyl)]methylamine, a reaction product between nitrogen mustard and DNA and its application to biological samples. *J Chromatogr B*. 1998 ; 716 : 187-93.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9824232>
- 81) Wooten JV, Ashley DL, Calafat AM. Quantification of 2-chlorovinylarsenous acid in human urine by automated solid-phase microextraction-gas chromatography- mass spectrometry. *J Chromatogr B*. 2002 ; 772 : 147-53.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12016026>
- 82) Boadas-Vaello P, Jover E, Llorens J, Bayona JM. Determination of cyanide and volatile alkyl nitriles in whole blood by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography with nitrogen phosphorus detector. *J Chromatogr B*. 2008 ; 870 : 17-21.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18541461>
- 83) Gambaro V, Arnoldi S, Casagni E, Dell'acqua L, Pecoraro C, Frolidi R. Blood cyanide determination in two cases of fatal intoxication : comparison between headspace gas chromatography and a spectrophotometric method. *J Forensic Sci*. 2007 ; 52 : 1401-4.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18093070>

- 84) Gonmori K, Muto H, Yamamoto T, Takahashi K. A case of homicidal intoxication by chloropicrin. *Am J Forensic Med Pathol.* 1987 ; 8 : 135-8.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3605008>
- 85) Noort D, Hulst AG, Fidder A, Van Gurp RA, De Jong LPA, Benschop HP. In vitro adduct formation of phosgene with albumin and hemoglobin in human blood. *Chem Res Toxicol.* 2000 ; 13 : 719-26.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10956059>
- 86) Sochaski MA, Jarabek AM, Murphy J, Andersen ME. 3-chlorotyrosine and 3,5-dichlorotyrosine as biomarkers of respiratory tract exposure to chlorine gas. *J Anal Toxicol.* 2008 ; 32 : 99-105.
<http://jat.oxfordjournals.org/content/32/1/99.long>
- 87) Christopher WG, Cieslak TJ, Pavlin JA, Eitzen EM. Biological warfare. A historical perspective, *JAMA.* 1997 ; 278 : 412-17.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9244333>
- 88) Lederberg J. *Biological weapons : Limiting the threat.* The MIT Press, Cambridge, Massachussets. 1999 ; 352 p.
[http://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=lqE-a9sVItUC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Lederberg+J.++\(1999\)+Biological+weapons+:+Limiting+the+threat.+The+MIT+Press,+Cambridge,+Massachussets,+352+p.&ots=DpySNeAVzI&sig=soWilqyr4PwYedZjb5Oab0lu-UbA#v=onepage&q&f=false](http://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=lqE-a9sVItUC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Lederberg+J.++(1999)+Biological+weapons+:+Limiting+the+threat.+The+MIT+Press,+Cambridge,+Massachussets,+352+p.&ots=DpySNeAVzI&sig=soWilqyr4PwYedZjb5Oab0lu-UbA#v=onepage&q&f=false)
- 89) Rosebury T, Kabat EA. A critical analysis of the available agents, their possible military application, and the means for protection against them. *J Immunol.* 1947 ; 56 (1): 7-96.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20296218>
- 90) Vidal D, Thibault F, Valade E, Levêque F, Ramisse F, Gauthier Y, Paucod J-C, Crance JM, Vergnaud G, Coppet L, Garin D. Analyse de colis suspects de contamination par le bacille du charbon : les leçons de la crise bioterroriste de l'automne 2001. *Medecine et armées.* 2003 ; 31 : 227-31.
<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=15186939>
- 91) Peyrefitte CN, Thibault F, Peyrefitte SPM, Tordo N, Garin D, Marianneau. Approche intégrée pour une réponse à la menace bioterroriste en France. *Euro Référence : Les cahiers de la référence (ANSES)..* 2012 ; n°7 spécial Sécurité et Sûreté : 12-16.
<https://pro.anses.fr/euroreference/Documents/ER07-Reseaux-ApprocheEN.pdf>
- 92) Kman NE, Bachmann DJ. Biosurveillance: A Review and Update. Hindawi Publishing Corporation *Advances in Preventive Medicine.* 2012 ; Article ID 301408, 9 pages doi:10.1155/2012/301408
<http://www.hindawi.com/journals/apm/2012/301408/>
- 93) Binder P, Brucker G, Josserand L. De l'alerte au laboratoire, un réseau cohérent face aux dangers infectieux naturels ou provoqués. *Bull. Acad. Nat. Med.* 2007 ; 191 : 1005-18.
<http://www.academie-medecine.fr/wp-content/uploads/2013/03/2007.6.pdf>
- 94) Thibault FM, Forcet S, Lachenaud L, Vidal DR. Réponse à la menace biologique : le réseau des laboratoires Biotox-Piratox. *Revue francophone des laboratoires.* 2009 ; 415 (10) : 71-5.
- 95) De Revel T, Gourmelon P, Vidal D, Renaudeau C. Menace terroriste. Approche médicale. Nucléaire, radiologique, biologique, chimique. JOHN LIBBEY EUROTEXT Edition, Montrouge, 2005 420 pp.
<https://books.google.fr/books?id=uZcJBAAQBAJ&pg=PA407&lpg=PA407&dq=De+Revel+T,+Gourmelon+P,+Vidal+D,+Renaudeau+C.+Menace+terroriste&source=bl&ots=LQ5efEwmwl&sig=fPV0k1zn6yPhqAmZgS2xZMN-bieY&hl=fr&sa=X&ei=mjW5VPHnG9jfatb-gPgO&ved=0CFIQ6AEwCQ#v=onepage&q=De%20Revel%20T%2C%20Gourmelon%20P%2C%20Vidal%20D%2C%20Renaudeau%20C.%20Menace%20terroriste&f=false>
- 96) Agence Nationale de Sécurité des Médicaments et produits de santé (ancienne AFSSAPS: dossier Biotox
[http://ansm.sante.fr/Dossiers/Biotox-Piratox-Piratox/Fiches-Biotox-de-prise-en-charge-therapeutique/\(offset\)/1](http://ansm.sante.fr/Dossiers/Biotox-Piratox-Piratox/Fiches-Biotox-de-prise-en-charge-therapeutique/(offset)/1)
- 97) Sweeney DA, Hicks CW, Cui X, Li Y, Eichacker PQ. Anthrax Infection. *Concise Clinical Review American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine.* 2011 ; 184 : 1133-41.
<http://www.atsjournals.org/doi/pdf/10.1164/rccm.201102-0209CI>
- 98) Inglesby TV, O'Toole T, Henderson DA, Bartlett JG, Ascher MS, Eitzen E, et al. Anthrax as a biological weapon, 2002 : updated recommendations for management. *JAMA* 2002 ; 287 : 2236-52.
<http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=194886>
- 99) Dennis DT, Inglesby TV, Henderson DA, et al, for the Working Group on Civilian Biodefense. Tularemia as a Biological Weapon. *Medical and Public Health Management. JAMA.* 2001 ; 285 : 2763-73.
<http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=193894>

- 100) Cavalllo JD, Fulla C ; Dorandeu F, Laroche P, Vidal D et al. Les risque NRBC. Savoir pour agir 2^{ème} éd 2009. Xavier Montauban ed. ISBN : 2-914990-06-5
http://books.google.fr/books?id=9w187N01nr8C&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- 101) Mirski T, Bartoszcze M, Bielawska-Drózd A, Cieřlik P, Michalski AJ, Niemcewicz M, Kocik J, Chomiczewski K. Review of methods used for identification of biothreat agents in environmental protection and human health aspects. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. 2014 ; 21 (2) : 224–34.
http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCUQFjAA&url=http%3A%2F%2Faaem.pl%2Ffulltxt.php%3FICID%3D1108581&ei=fJC7VJSYOor-nUvHNgrAL&usg=AFQjCNEW13JqdNDgQr__kz0GvzEvO72nRA&bvm=bv.83829542,d.d24
- 102) Borio L, Inglesby T, Peters CJ et al, Hemorrhagic fever viruses as biological weapons: medical and public health management. *JAMA*. 2002 ; 287: 2391-405.
<http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=194908>
- 103) Attrée O, Guglielmo-Viret V, Gros V, Thullier P. Development and comparison of two immunoassay formats for rapid detection of botulinum neurotoxin type A. *J Immunol Methods* 2007; 325 : 78-87.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022175907001810>
- 104) Guglielmo-Viret V, Spletstoesser W, Thullier P. An immunochromatographic test for the diagnosis of ricin inhalational poisoning. *Clin Toxicol (Phila)*. 2007 ; 45 : 505-11.
<http://informahealthcare.com/doi/abs/10.1080/15563650701354226>
 Groupe "Australie" <http://www.australiagroup.net>
- 105) Ching KH, Lin A, McGarvey JA, Stanker LH, Hnasko R. Rapid and selective detection of botulinum neurotoxin serotype-A and -B with a single immunochromatographic test strip. *Journal of Immunological Methods*. 2012 ; 380 : 23–29.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022175912000907>
- 106) Zhang P, Liu X, Wang C, Zhao Y, Hua F, et al. Evaluation of Up-Converting Phosphor Technology-Based Lateral Flow Strips for Rapid Detection of *Bacillus anthracis* Spore, *Brucella* spp., and *Yersinia pestis*. *PLoS ONE* 2014 ; 9(8): e105305. doi:10.1371/journal.pone.0105305
<http://www.plosone.org/article/fetchObject.action?uri=info:doi/10.1371/journal.pone.0105305&representation=PDF>
- 107) Addanki KC, Sheraz M, Knight K, Williams K, Pace DG, Bagasra O. Detection of anthrax toxin genetic sequences by the solid phase oligo-probes. *Indian Journal of Medical Microbiology*. 2011 ; 29 (4) : 372-8.
<http://www.ijmm.org/article.asp?issn=0255-0857;year=2011;volume=29;issue=4;spage=372;epage=378;aulast=Addanki>
- 108) Peruski LF, Peruski AH. Rapid diagnostic assays in the genomic biology era: detection and identification of infectious disease and biological weapon agents. *BioTechniques*. 2003 ; 35 : 840-6.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14579750>
- 109) Peruski AH, Peruski LF. Immunological methods for detection and identification of infectious disease and biological warfare agents. *Clin. Diagn. Lab. Immunol*. 2003 ; 10 : 506-13.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC164256/>
- 110) Scaramozzino N, Ferrier-Rembert A, Favier AL, Rothlisberger C, Richard S, Crance JM, Meyer H, Garin D. Real-time PCR to identify variola virus or other human pathogenic orthopoxviruses. *Clinical Chemistry*. 2007 ; 53 : 606-13.
http://www.unboundmedicine.com/medline/citation/17332145/Real_time_PCR_to_identify_variola_virus_or_other_human_pathogenic_orthopox_viruses_
- 111) Thibault FM, Valade E, Vidal D. Identification and discrimination of *Burkholderia pseudomallei*, *B. mallei* and *B. thailandensis* by real-time PCR targeting type III secretion system genes. *J. Clin. Microbiol*. 2004 ; 42 : 5871-4.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC535269/>
- 112) Yang Y, JWang j, Wen H, Liu H.³ Comparison of Two Suspension Arrays for Simultaneous Detection of Five Biothreat Bacterial in Powder Samples Hindawi Publishing Corporation. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. Volume 2012, Article ID 831052, 8 pages doi :10.1155/2012/831052
<http://www.hindawi.com/journals/bmri/2012/831052/>
- 113) Amoako KK, Shields MJ, Goji N, Paquet C, Thomas MC, Janzen TW, Bin kingombe CI, Kell AJ, Hahn KR. Rapid Detection and Identification of *Yersinia pestis* from Food Using Immunomagnetic Separation and Pyrosequencing Hindawi Publishing Corporation *Journal of Pathogens*. Volume 2012, Article ID 781652, 6 pages
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3469099/pdf/JPATH2012-781652.pdf>

- 114) Ayyadurai S, Flaudrops C, Raoult D, Drancourt M. Rapid identification and typing of *Yersinia pestis* and other *Yersinia* species by matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight (MALDI-TOF) mass spectrometry. *BMC Microbiology*. 2010 ; 10 : 285-92
<http://www.biomedcentral.com/1471-2180/10/285>
- 115) Le Fleche P, Hauck Y, Onteniente L, Prieur A, Denoeud F, Ramisse V, et al. A tandem repeats database for bacterial genomes: application to the genotyping of *Yersinia pestis* and *Bacillus anthracis*. *BMC Microbiol*. 2001 ; 1(1) : 2.
<http://www.biomedcentral.com/1471-2180/1/2>
- 116) Kuroda M, Serizawa M, Okutani A, Sekizuka T, Banno S, Inoue S. Genome-Wide Single Nucleotide Polymorphism Typing Method for Identification of *Bacillus anthracis* Species and Strains among *B. cereus* Group Species. *Journal of clinical Microbiology*. 2010 ; 48 (8) : 2821-9.
<http://jcm.asm.org/content/48/8/2821.long>
- 117) Janse I, Hamidjaja RA, Bok JM, van Rotterdam BJ. Reliable detection of *Bacillus anthracis*, *Francisella tularensis* and *Yersinia pestis* by using multiplex qPCR including internal controls for nucleic acid extraction and amplification. *BMC Microbiology* 2010 ; 10 : 314 -26
<http://www.biomedcentral.com/1471-2180/10/314>
- 118) Motley ST, Redden CL, Sannes-Lowery CA, Eshoo MW, Hofstadler SA, Burans JP, Rosovitz MJ. Differentiating Microbial Forensic qPCR Target and Control Products by Electrospray Ionization Mass Spectrometry. *Biosecurity and Bioterrorism : Bio-defense Strategy, Practice, and Science*. 2013 ; 11 (2) : 107-18.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3696942/pdf/bsp.2012.0062.pdf>
- 119) Turingan RS, Thomann H-U, Zolotova A, Tan E, Selden RF Rapid Focused Sequencing: A Multiplexed Assay for Simultaneous Detection and Strain Typing of *Bacillus anthracis*, *Francisella tularensis*, and *Yersinia pestis* *PLoS ONE* 8(2): e56093. doi:10.1371/journal.pone.0056093
<http://www.plosone.org/article/fetchObject.action?uri=info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0056093&representation=PDF>
- 120) Janse I, Bok JM, Hamidjaja RA, Hodemaekers HM, van Rotterdam BJ. Development and Comparison of Two Assay Formats for Parallel Detection of Four Biothreat Pathogens by Using Suspension Microarrays. *PLoS ONE* 7(2) : e31958. doi:10.1371/journal.pone.0031958 . 2012 ; 7 (2) : 1-12.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3280232/pdf/pone.0031958.pdf>
- 121) Woubit AS, Yehualaeshet T, Habtemariam T, Samuel T. Simultaneous, specific and real-time detection of biothreat and frequently encountered food-borne pathogens. *J. Food Prot.* 2012 ; 75 (4) : 660-670. doi:10.4315/0362-028X.JFP-11-480.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3524339/pdf/nihms427211.pdf>
- 122) Bozza WP, Tolleson WH, Rivera Rosado LA, Zhang B. Ricin detection: Tracking active toxin *Biotechnology Advances* xxx (2014) xxx-xxx (in press)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975014001876>
- 123) Arrêté du 16 juillet 2007 fixant les mesures techniques de prévention, notamment de confinement, à mettre en œuvre dans les laboratoires de recherche, d'enseignement, d'analyses, d'anatomie et cytologie pathologiques, les salles d'autopsie et les établissements industriels et agricoles où les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des agents biologiques pathogènes.
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000465273&fastPos=1&fastReqId=1061129799&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte>
- 124) Sewell DL. Laboratory safety practices associated with potential agents of biocrime or bioterrorism. *J Clin Microbiol*. 2003 ; 41(7) : 2801-9.

Chapitre 15. Police technique et scientifique et preuve numérique

N. Duvinage

1. Introduction

1.1. De l'analogique au numérique

On appelle « donnée numérique » toute donnée qui est enregistrée, fixée, stockée, représentée ou transmise sous forme numérique, c'est-à-dire sous forme d'une série de valeurs discrètes (par opposition à un spectre continu d'une infinité de valeurs). Ainsi on pourrait considérer l'alphabet romain et le système de numération arabe (constitués respectivement de 26 lettres et de 10 chiffres, soit 36 valeurs discrètes) comme une forme de représentation numérique de la parole humaine (qui peut utiliser une infinité de tons et sonorités¹). Généralement, cependant, les valeurs discrètes les plus souvent employées sont tout simplement binaires (0 et 1).

Ces valeurs binaires sont bien adaptées aux technologies actuelles de stockage de l'information : ainsi sur les supports numériques magnétiques, l'information est enregistrée sous la forme d'un champ magnétique (le « Nord » indiquant par exemple la valeur 0, le « Sud » la valeur 1), et sur les supports électroniques l'information est enregistrée sous la forme d'un état (l'état « haut » indiquant par exemple la valeur 0, l'état « bas », la valeur 1).

En anglais, on utilise le terme *digital*, qui signifie « à base de *digits* » (c'est-à-dire à base de chiffres – ces fameuses valeurs discrètes). Ce terme est souvent traduit en l'état de façon impropre en français, ce qui conduit aux barbarismes suivants : « la preuve digitale » (au lieu de « la preuve numérique »), « une montre à affichage digital » (au lieu de « une montre à affichage numérique »), « le son en qualité digitale » (au lieu de « le son en qualité numérique »), etc.

L'antonyme de « numérique » est « analogique », et dans la plupart des domaines, le modèle numérique est désigné comme le successeur du modèle analogique, considéré comme obsolète et de moins bonne qualité. Ainsi dans le domaine de l'audiovisuel, on est passé des cassettes vidéo analogiques aux DVD et *Blu-Ray Discs* numériques, des cassettes audio analogiques aux lecteurs MP3 numériques, de la télévision analogique à la télévision numérique terrestre (TNT), du cinéma en bandes analogiques 35 mm au cinéma numérique avec vidéoprojecteur et « tatouage anti-contrefaçon », de l'enregistrement de vidéosurveillance en cassettes VHS à l'enregistrement numérique sur disque dur, etc. De même dans le domaine des télécommunications, la téléphonie mobile numérique (ex. : GSM pour la 2^{ème} génération, GPRS pour la « 2,5^{ème} » génération, UMTS pour la 3^{ème} génération) a supplanté la téléphonie mobile analogique des débuts (ex. : Radiocom 2000).

Comme on le voit dans les exemples précédents, les données numériques ne sont pas uniquement présentes dans le seul domaine de l'informatique. Elles recouvrent un spectre extrêmement large et peuvent se retrouver dans la quasi-totalité des objets de notre vie courante, que ces objets soient informatiques, électroniques, audio, vidéo, de télécommunications, etc. De nombreuses illustrations sont données dans les paragraphes suivants. Dans le présent chapitre on préfère donc le mot « numérique » au mot « informatique », ce dernier ayant une acception trop restrictive, alors que les techniques et méthodes employées sont communes.

1. On pourrait même y ajouter les notes de musique pour le chant !

1.2. Définition de la preuve numérique

Par ailleurs, le droit français² précise que « la preuve est libre ». Si une infraction est fondée sur un élément légal (le droit français impose-t-il une prescription quelconque susceptible d'avoir été violée par l'acte considéré ?), sur un élément moral (y a-t-il intention de commettre l'infraction ?) et sur un élément matériel (la preuve), rien dans le droit français n'impose à cet « élément matériel » d'être physiquement matériel et palpable.

Ainsi l'aveu (qui est oral et immatériel) a-t-il été longtemps considéré comme « la reine des preuves ». De même l'interception d'une conversation téléphonique (de nature éminemment orale et immatérielle) peut être un élément de preuve. La procédure étant écrite dans sa première phase³, il convient simplement que la preuve puisse être jointe au dossier papier, soit sous sa forme matérielle originale, soit sous forme d'une retranscription dactylographiée, d'une impression papier, d'une représentation photographique ou dessinée (ex. : portrait-robot, reconstitution de scène de crime), etc.

Que la preuve numérique soit matérielle ou immatérielle (cf. paragraphes 1.2 et 1.3), il y a donc un sens à employer le terme « preuve numérique », et cette preuve numérique a toute sa légitimité et autant de force probante que les autres formes de preuve en droit français⁴.

1.3. Typologie des supports matériels de la preuve numérique

Comme on l'a esquissé *supra*, la preuve numérique peut revêtir une forme matérielle ou immatérielle. Dans le premier cas, on parle le plus souvent de « support matériel de stockage » de la preuve numérique ; en effet, des données peuvent généralement y être stockées (données-utilisateur, programmes, etc.), et ce sont la plupart du temps ces données qui servent à éclairer l'enquête. En fonction des supports et des usages, ces données peuvent être stockées dès l'origine à la fabrication par le constructeur ou par un acteur de la chaîne de production ou de distribution, ou elles peuvent être stockées par l'utilisateur selon sa propre volonté. Selon les cas, ces données peuvent être modifiables ou non modifiables, effaçables ou non effaçables.

1.3.1. Support sans vocation de stockage de données

Il existe cependant des cas où le support matériel n'a pas vocation à stocker des données, quelles qu'elles soient. Il s'agit généralement de circuits électroniques, de composants, d'antennes de télé- ou radio-communications, de micro-espions, etc. Les actes de police technique et scientifique ont alors souvent pour vocation :

- d'établir s'il s'agit d'un dispositif industriel original, industriel modifié artisanalement (par exemple à des fins d'espionnage, de vol de données ou de piratage⁵), industriel contrefait (ex. : démodulateur de télévision numérique à péage contrefait, téléphone mobile iPhone contrefait, etc.), ou d'un dispositif artisanal conçu de toutes pièces ;
- de décrire le fonctionnement de l'objet (buts et usages de l'objet, état fonctionnel ou non fonctionnel⁶, etc.) ;

² Tout au moins le droit pénal français.

³ L'oralité prévalant en revanche au moment du procès.

⁴ Cette force probante est d'ailleurs reconnue dans la plupart des droits des autres pays.

⁵ Ajout d'un micro-espion dans un téléphone, d'un dispositif de capture de données bancaires dans un terminal de paiement électronique, « débridage » (« *moding* ») d'une console de jeux vidéo, etc.

⁶ Dans certains cas, l'état de l'objet peut modifier la qualification d'une infraction : si l'objet est fonctionnel, il y a infraction, si l'objet n'est pas fonctionnel, il y a tentative d'infraction.

- dans le cas d'un dispositif industriel, d'identifier la marque, le modèle, le numéro de série, de retrouver sa fiche technique ou son mode d'emploi, de vérifier auprès du fabricant ou du réseau de distribution si le propriétaire peut être retrouvé *via* des bases de données-clients ou de service après-vente ;
- dans le cas d'un dispositif artisanal, d'isoler tout élément pouvant concourir à l'identification de son concepteur ou de son utilisateur (s'agit-il d'un schéma électronique identique? S'agit-il d'un dispositif de conception similaire et caractéristique ? Y a-t-il présence de numéros de série dont la traçabilité est suivie par le fabricant ?) ;
- de faire des recoupements ou rapprochements entre différents faits ou dans différentes enquêtes (un dispositif de conception similaire a-t-il déjà été saisi dans une autre affaire ? L'antenne aurait-elle pu être utilisée avec des matériels semblables saisis chez un autre suspect ?).

1.3.2. Support à vocation de stockage de données

Lorsqu'il s'agit d'un support de stockage de données, ce support peut être « *volatil* » ou « *non volatil* ».

1.3.2.1. Supports volatils

Quand il est volatil, on l'appelle « **mémoire vive** » (ou – de façon imprécise - mémoire RAM⁷) et il s'efface lorsque l'alimentation électrique est coupée (ex. : débranchement du fil d'alimentation électrique ou épuisement de la batterie). Malgré cet apparent défaut, ce type de support est assez fréquent et demeure très utilisé pour stocker certaines données : ainsi un grand nombre de télécopieurs utilisent de la mémoire volatile pour stocker les fax en attente (d'émission ou de réception), le répertoire téléphonique (carnet d'adresses de numéros de télécopie) ou la liste des derniers numéros composés ; de même, un nombre encore important d'assistants numériques personnels⁸ stockent leurs données de façon volatile.

Pendant de nombreuses années, les spécialistes de la police technique et scientifique ont quasiment ignoré les mémoires vives, concentrant leurs efforts sur les supports de stockage non volatils. Les raisons sont multiples : les mémoires vives ne sont pas *a priori* destinées à stocker des données de façon pérenne et présentent donc *a priori* un intérêt plus limité pour les enquêtes judiciaires, les matériels et techniques nécessaires sont plus complexes et plus délicats à mettre en œuvre, etc. Depuis quelques années, cependant, le recueil et l'exploitation du contenu des mémoires volatiles sont un domaine en pleine expansion, dans le cadre d'une branche de la spécialité appelée « *live forensics* ». Le « *live forensics* » est toutefois plus général : il consiste en l'analyse, dans toutes leurs composantes, des machines en cours de fonctionnement⁹. Outre les progrès de la police technique et scientifique, le développement du « *live forensics* » s'explique notamment par l'usage croissant, par les criminels, d'outils de chiffrement fort¹⁰ ; ces outils, réputés inviolables, présentent néanmoins des failles, dont certaines peuvent être utilisées via l'exploitation de la mémoire vive.

1.3.2.2. Supports non-volatils

Quand le support de stockage est non volatil, on l'appelle « **mémoire de masse**¹¹ » et il est persistant même en cas de coupure prolongée de l'alimentation électrique. Différents types de mémoires non volatiles sont présentées au tableau 1 ci-dessous.

⁷ RAM : *Random Access Memory* (mémoire à accès aléatoire, par opposition à mémoire à accès séquentiel) ; il existe cependant des mémoires non volatiles à accès aléatoire, telles que la mémoire de type Flash.

⁸ En anglais « *Personal Digital Assistant* (PDA) » ; on utilise parfois le nom de marque « Palm » pour désigner tous les objets de cette catégorie.

⁹ Les mémoires volatiles s'effaçant à l'extinction de la source d'alimentation électrique, leur exploitation n'est généralement possible que lorsque les machines qui les utilisent sont encore en cours de fonctionnement.

¹⁰ Programmes informatiques utilisant la cryptographie pour rendre inintelligible des données, sauf à connaître le secret (clé) permettant de les rendre à nouveau intelligibles (de les déchiffrer).

¹¹ En anglais, *mass storage*. En français, on utilise parfois aussi le terme « mémoire morte » (par opposition à « mémoire vive »).

Historiquement, les premiers supports de stockage non volatils utilisés en informatique étaient des cartes perforées, sur lesquelles étaient stockés des programmes à faire exécuter par de gros serveurs ; le principe était similaire à celui des modèles pour les machines à tisser (« métiers Jacquard ») et à celui des partitions musicales pour les automates mécaniques (« orgues de Barbarie »). Aujourd'hui, ces cartes sont totalement obsolètes et n'existent plus que dans les musées informatiques¹².

La seconde génération de supports de stockage de masse a utilisé la technologie magnétique (les données sont stockées sous forme de champs magnétiques). Dès les années 1950-1960 sont ainsi apparues les bandes magnétiques et les disques durs¹³. Notons toutefois que les bandes magnétiques peuvent stocker l'information sous deux formes : analogique ou numérique ; dans le domaine de l'audio et de la vidéo, les bandes magnétiques ont pendant très longtemps, et jusqu'à une période très récente, toujours stocké l'information sous forme analogique¹⁴ ; en revanche, dans le domaine de l'informatique, les bandes magnétiques ont toujours stocké l'information sous forme numérique.

Malgré leur ancienneté et leur méconnaissance par le grand public, les bandes magnétiques informatiques restent aujourd'hui très utilisées dans le monde de l'entreprise. Robustes, amovibles, simples d'utilisation et capables de stocker des volumes de données conséquents grâce à leur densité, elles servent surtout à stocker des sauvegardes de serveurs et de bases de données. Les deux principales technologies sont le stockage linéaire et le stockage hélicoïdal. Les marques, modèles et formats de bandes sont extrêmement variés, et se confondent parfois avec les appellations du langage courant de l'informatique pour désigner lesdites bandes (ex. : bandes DAT, DLT, DDS, LTO, QIC, AIT, Exabyte, Ditto, Travan, SyQuest, etc.).

Parallèlement aux bandes magnétiques, les disques durs ont également fait leur apparition, supplantant la technologie de stockage sur tambours magnétiques. Similaire, mais de façon beaucoup plus complexe et avancée, au schéma mécanique du tourne-disque vinyle, le disque dur est composé d'un (ou plusieurs) plateau(x) circulaire(s) rigide(s)¹⁵ ; les micro-particules métalliques composant le plateau sont chacune porteuse d'un micro-champ magnétique qui « porte » la valeur 0 ou 1. Les plateaux sont mis en rotation par un moteur et parcourus par une (ou plusieurs) tête(s) de lecture-écriture couplées à un système électronique de traitement. Depuis leur invention à la fin des années 1950, les disques durs ont considérablement évolué, tant par leurs performances (capacités de stockage, débit, vitesse de rotation, etc.) que par leur format (compté en pouces : 19", 8", 5,25", 3,5", 2,5", 1,8", 1") ou par leur interface (SMD, ST-506, ESDI, SCSI, PATA, SATA, ZIF/LIF, SAS, Fibre-Channel).

¹² Les dernières cartes perforées ont disparu dans les années 1980.

¹³ NB : Le disque dur a été précédé par les tambours magnétiques.

¹⁴ Jusqu'à l'apparition des cassettes et bandes Digital Betacam, Digital8, D-VHS, MiniDV, etc dans les années 1990-2000.

¹⁵ Les premières générations de disques durs sont métalliques, puis en verre recouvert d'une très fine surface métallique.

Nature du support	Type de support	Observations
Support carton	Cartes perforées	Historique, maintenant obsolète
Supports magnétiques	Bandes magnétiques Stockage linéaire, stockage hélicoïdal : DAT, DLT, DDS, LTO, QIC, AIT, Exabyte, Ditto, Travan, SyQuest, etc	Robustes, amovibles, simples, permettent de stocker une grande quantité de données, mais lentes et coûteuses Peuvent aussi stocker l'information sous forme analogique Encore très utilisées : sauvegarde de serveurs, bases de données etc.
	Tambours magnétiques	abandonnés
	Disques durs SMD, ST-506, ESDI, SCSI, PATA, SATA, ZIF/LIF, SAS, Fibre-Channel	Non-amovible. Plateau(x) composés de microparticules constituant chacune un micro-champ magnétique., parcourus par des têtes de lecture-écriture
	Disquettes 19", 8", 5,25", 3,5", 2,5", 1,8", 1" Zip, Jazz, Bernoulli	Amovible Capacité de stockage faible
	Cartes à piste magnétique Monétique, billettique, cartes de paiement, club, téléphonie, etc	Support plastique semi-rigide ou cartonné souple Enregistrement ou effacement nécessite un lecteur-encodeur de cartes à pistes Capacité de stockage faible
Supports optiques	CD, DVD pressés ou R et RW gravés UMD (console de jeux) Blue Ray Disc (BD) HVD (holographic Versatile Disc du futur)	Disque rigide polycarbonate des têtes de lecture-écriture laser
Supports électroniques	Read Only Memory (ROM) Programmable ROM (PROM) Erasable Programmable ROM (EPROM) Electrically Erasable Programmable ROM (EEPROM) Clé USB Carte SIM Divers mémoires internes (Lecteurs MP3, téléphones mobiles, GPS etc) Disques durs SSD (stockage de données sur mémoires flash)	Semi-conducteurs Amovible ou non amovible
Supports hybrides	Sony MiniDisc ou HI-MD, Floptiques (SuperDisc) Disques durs hybride	Magnéto-optiques Plateaux magnétiques/mémoire flash

Tableau 1 : exemples de supports à mémoire non volatile

Dès les années 1970, le besoin d'alternatives aux disques durs (non amovibles) et aux bandes magnétiques (amovibles mais lentes et coûteuses) a émergé. C'est ainsi que sont nées les disquettes, utilisant elles aussi la technologie magnétique. Les disquettes ont globalement assez peu évolué en capacité de stockage et en formats (formats 8", 5,25", 3,5", et quelques formats plus « exotiques¹⁶ »), même si des variantes sont apparues sous d'autres noms (ex. : « cartouches » Bernoulli, ZIP et JAZ du constructeur Iomega).

Notons que, dans un tout autre domaine et pour de toutes autres applications, la technologie magnétique est également utilisée pour stocker des données sur des cartes à pistes magnétiques.

Fréquemment la totalité de la longueur du support physique, en position centrale ou excentrée (position dite « ISO », en référence à la norme ISO 7811 [1]) ; dans ce dernier cas, la norme ISO 7811 précise aussi que la « bande » magnétique est en réalité constituée de trois pistes magnétiques distinctes (les pistes ISO1, ISO2 et ISO3), et elle indique la façon dont doivent être encodées les données (ex. : codage dit « F/2F »)¹⁷.

¹⁶ Ex.: la disquette 2" a existé sous deux formes: l'une permettant – directement depuis un appareil-photo - de stocker des photos en analogique (« Video Floppy »), l'autre permettant de stocker des fichiers numériques (ex.: ordinateur portable Zenith MiniSport).

¹⁷ Voir aussi les normes ISO 7810 [2], ISO 7812 [3] et ISO 7813 [4].

Les principales applications des cartes à pistes magnétiques sont la monétique (ex. : cartes bancaires, cartes de crédit, cartes de paiement privatives de grands magasins, cartes de paiement de restaurants d'entreprise...), la billettique (ex. : billets d'avion et de train au « format IATA¹⁸ », tickets de transports en commun, vieux forfaits de remontées mécaniques de sports d'hiver...), les cartes de fidélité (ex. : cartes de pétroliers, « cartes club » et autres « cartes privilèges »...), la téléphonie (ex. : cartes à gratter prépayées permettant de passer des appels internationaux à tarif réduit depuis une cabine ou un centre d'appels) et le contrôle d'accès (ex. : chambres d'hôtels, badges d'accès à une zone réservée, parcs d'attraction, foires et salons...).

Bien que le principe général en fût inventé beaucoup plus tôt, les supports de stockage utilisant la technologie optique (CD puis DVD) ont fait leur irruption sur le marché dans les années 1980. Le principe consiste à utiliser un disque rigide de polycarbonate, composé d'une face translucide et d'une face opaque (dont la couche interne réfléchit la lumière). Une tête de lecture-écriture envoie un laser, qui traverse la face translucide avant d'être renvoyé à une cellule photosensible de la tête par la couche interne réfléchissante de la face opaque. Lors de son trajet, la lumière peut rencontrer des « obstacles » sur la couche translucide, qui vont légèrement modifier la lumière (intensité, polarisation, etc.) ; ce sont ces « obstacles » qui permettent de « porter » l'information. Les disques optiques originaux (ex. : CD musicaux du commerce, DVD vidéo du commerce) sont « pressés¹⁹ », alors que les supports optiques enregistrables (R) et réinscriptibles (RW) sont « gravés²⁰ ». Outre les CD et DVD, de nombreux autres supports optiques existent, dont l'Universal Media Disc (UMD) utilisé sur les consoles de jeux Sony PlayStation portables, et le récent Blu-ray Disc (BD). Le support optique du futur utilisera sans doute la technologie holographique (HVD - *Holographic Versatile Disc*). Mentionnons que la façon d'organiser les données stockées sur un support optique a fait l'objet de normes internationales (ISO 9660 et ISO 13346).

Quant aux supports de stockage non volatils utilisant la technologie électronique (« solid state »), ils ont été inventés en même temps que les semi-conducteurs (ex. : transistors) sur lesquels ils se reposent. Les mémoires ROM (*read-only memory*), dans lesquelles les données doivent être enregistrées dès la fabrication, et les mémoires PROM (*programmable read-only memory*), dans lesquelles les données peuvent être enregistrées après la fabrication, datent des années 1950 et les données qu'elles contiennent ne sont pas modifiables. Les mémoires EPROM (*erasable programmable read-only memory*), inventées en 1971, présentent l'avantage supplémentaire d'être effaçables un nombre limité de fois (par exposition à une forte lumière ultraviolette). Les mémoires EEPROM ou E2PROM (*electrically erasable programmable read-only memory*), inventées en 1983, sont beaucoup plus facilement effaçables (un simple ordinateur suffit, alors qu'une source ultraviolette est indispensable pour les EPROM). La dernière évolution consiste en l'invention de la mémoire Flash (commercialisée au début des années 1990), qui est une forme d'EEPROM aux performances plus abouties.

Les supports de stockage non volatils électroniques sont sans doute les plus variés. Ils peuvent être non amovibles (« soudés » à leur contenant). On les trouve alors sur les cartes-mères des ordinateurs (ex. : certains contiennent le BIOS), sur des montages électroniques (ex. : mémoire EEPROM dans un « skimmer²¹ », comme microcontrôleur dans un dispositif de mise à feu d'engin explosif, etc.), sous forme de mémoire interne pour de très nombreux appareils mobiles ou portatifs (téléphones mobiles, lecteurs MP3, cadres-photos numériques, dictaphones numériques, GPS, etc.). Ils sont aussi présents sur des cartes à puce à contact²² (carte bancaire, carte SIM de téléphonie mobile, carte Vitale de sécurité sociale, etc.) ou sans contact²³ (passeport électronique, télépéage, forfait de remontées mécaniques dans les stations de

¹⁸ IATA *International Air Transport Association*.

¹⁹ Les « obstacles » sont des « *pits* » (creux) et des « *lands* » (crêtes).

²⁰ Les « obstacles » sont créés/supprimés via une modification causée par la chaleur apportée par le laser sur le polycarbonate (réorientation cristalline) ou sur la couche organique qu'il contient (fusion, décomposition).

²¹ Skimmer : petit dispositif permettant de lire une carte à piste magnétique, le plus souvent de type bancaire commercial ou artisanal, à usage légitime (ex. : caisse d'un magasin) ou illégitime (fraude bancaire) disposant ou non d'une capacité de stockage (dans ce cas, il transmet directement les données des pistes magnétiques à un ordinateur pour enregistrement). Par extension, dispositif de piégeage de distributeur automatique de billets, de carburant, de terminal de paiement électronique, etc.

²² Voir en particulier la norme ISO 7816 [5]

²³ Voir en particulier les normes ISO/IEC 14443 [6], ISO/IEC 18092 [7] et ISO/IEC 15693 [8].

sports d'hiver, ticket électronique de transports en commun²⁴, etc.). Ils peuvent être également amovibles : on les trouve alors sous forme de clé USB, de cartes d'extension-mémoire²⁵ (ex. : pour les appareils-photos numériques, les téléphones portables, les assistants numériques personnels, etc.) ou de cartouches-mémoire pour les consoles de jeux (ex. : Game Boy Advance de Nintendo, PlayStation de Sony, etc.). Il faut noter qu'une nouvelle génération de disques durs a été inventée récemment : dans ces « *solid state discs* » (ou « disques SSD »), les données ne sont plus stockées sous forme magnétique sur des plateaux, mais sous forme électronique sur des mémoires Flash.

Enfin, à titre anecdotique, il convient de rappeler l'existence de quelques supports de stockage non volatils à technologies hybrides, c'est-à-dire combinant deux des technologies citées *supra*, tels que les disques magnéto-optiques (ex. : Sony MiniDisc, Sony Hi-MD) et les supports « floptiques » (ex. : disques LS-120 - aussi appelés « SuperDisk » - de la société 3M/Imation, disquettes Sony HiFD), ces deux familles étant aujourd'hui quasi-obsolètes, et les très récents disques durs hybrides (combinant des plateaux magnétiques et de la mémoire Flash).

1.4. Typologie des formes immatérielles de la preuve numérique

Les supports matériels servent souvent à stocker des données numériques (cf. *supra*), et dans ce cas ce sont essentiellement les données numériques immatérielles elles-mêmes qui constituent la preuve.

Un simple fichier informatique peut donc être un élément de preuve : ainsi un criminel violant un mineur et prenant des clichés de ses actes avec son appareil-photo numérique, puis enregistrant ses photos sur un ordinateur, génère des éléments de preuve immatériels (stockés sur un support physique et bien matériel). De même, un citoyen indélicat retirant de l'argent avec sa carte bancaire sur un distributeur automatique de billets (DAB), sous la surveillance d'une caméra de vidéo-protection, puis allant porter plainte pour utilisation frauduleuse de sa carte bancaire, a (involontairement) provoqué la création de fichiers de logs (fichiers-journaux). Ces derniers enregistrent les détails de la transaction aussi bien dans la puce de sa carte bancaire que dans le DAB utilisé. Il a aussi déclenché l'enregistrement d'un fichier-vidéo le représentant en train d'introduire sa carte et de composer son code secret. Tous ces fichiers peuvent alors être de précieux éléments de preuve immatériels pour les enquêteurs.

Mais la preuve numérique peut aussi revêtir une forme immatérielle sans nécessairement disposer d'un support de stockage matériel. Ainsi des criminels peuvent utiliser un réseau de communications électroniques (réseau téléphonique fixe, réseau téléphonique mobile, Internet, réseau informatique local sans fil de type WiFi, réseau de radiomessagerie²⁶, etc.), que cette utilisation ait ou non un lien avec l'infraction commise (communications entre criminels dans le cadre d'une bande organisée, communications entre l'auteur et la victime, communications entre le criminel et sa famille sans lien avec l'infraction, etc.). Dès lors, l'exploitation dans le cadre de l'enquête du/des réseau(x) utilisé(s) par le(s) suspect(s) présente un intérêt potentiel.

L'exploitation d'un réseau permet ainsi d'identifier une adresse-réseau (numéro de téléphone, adresse e-mail, nom de domaine d'un site web, adresse IP²⁷, adresse MAC²⁸, etc.), qui elle-même peut éventuellement conduire à l'identification d'un suspect (nom, prénom, adresse postale, coordonnées bancaires, employeur, etc.).

L'exploitation du réseau peut également conduire à une localisation des faits, d'un suspect ou d'une victime. Cette localisation, d'une précision variable, peut être géographique (ex. : le suspect a agi depuis l'étranger,

²⁴ Ex. : « Pass Navigo » dans les transports en commun parisiens.

²⁵ Des dizaines de formats de cartes d'extension-mémoire existent : Compact Flash (CF), MultiMediaCard (MMC), Secure Digital (SD), etc.

²⁶ Réseaux très populaires en France dans les années 1980-1990, permettant d'échanger de petits messages textuels avec des terminaux mobiles à grande diffusion tels que les « Tadoo », « Alphapage » et « Tam-Tam ». Ces terminaux, appelés parfois « bipeurs » en français et « *paggers* » en anglais, n'ont plus aujourd'hui en France qu'un usage professionnel (métiers soumis à astreinte : pompiers, médecins, services d'assistance et de dépannage, etc.).

²⁷ *Internet Protocol* (l'adresse IP est équivalente au numéro de téléphone pour les ordinateurs sur Internet).

²⁸ *Media Access Control* (l'adresse MAC est le numéro de série de la carte électronique servant à un ordinateur à se connecter à un réseau).

la victime se trouvait dans la ville X, le complice se déplaçait dans le train n° 12345, etc.) ou « organisationnelle » (le suspect est employé de la société X, la victime est abonnée de l'opérateur téléphonique Y, le complice est client de la banque Z).

L'exploitation du réseau peut revêtir des formes extrêmement variées et utiliser des techniques et des matériels très différents en fonction des cas. Elle peut par exemple consister en une série de mesures radioélectriques de terrain (ex. : pour mesurer la propagation des ondes et en déduire la carte de couverture réelle d'une antenne-relais de téléphonie mobile) : dans ce cas, les ondes sont un élément de preuve numérique. Elle peut également consister en l'envoi d'une série de « commandes de tests ou de maintenance » par ordinateur sur Internet vers des machines bien déterminées, pour dresser la topologie du réseau (noeuds d'interconnexion, passerelles, serveurs, etc.) ou identifier l'administrateur d'un site web illicite (ex. : ping, traceroute, whois, etc.) : dans ce cas, les réponses reçues par l'ordinateur aux commandes qu'il a émises sur Internet sont les éléments de preuve numérique. En outre, moyennant des contraintes légales fortes et certaines limitations techniques, les communications transitant sur un réseau (ex. : une conversation téléphonique) peuvent être interceptées : un flux de communications peut ainsi devenir un élément de preuve numérique.

2. Place de la preuve numérique dans l'enquête judiciaire

2.1. Typologie des enquêtes pour lesquelles la preuve numérique peut s'avérer déterminante

On distingue généralement trois familles d'infractions :

- Les infractions au cours desquelles les technologies numériques sont utilisées à simple titre accessoire ou « logistique » ; on peut ainsi citer l'utilisation par les suspects de tous types de moyens de communication interpersonnelle, qu'ils soient de téléphonie fixe ou mobile (appels en mode voix ou en mode fax, échanges de SMS²⁹, etc.) ou par logiciels informatiques sur Internet (« *tchat* ³⁰», e-mails, VoIP³¹, etc.). On peut également citer l'utilisation de l'informatique par les mis en cause comme outil bureautique, qu'il s'agisse de bases de données de comptabilité dans des affaires de délinquance économique et financière, de contrats de travail ou de divers documents administratifs dans des affaires de travail illégal ou de faux, etc.
- Les infractions au cours desquelles les technologies numériques sont utilisées à titre principal mais non exclusif : il s'agit le plus souvent d'infractions pouvant être réalisées « de façon classique », mais dont la commission est facilitée par l'usage de technologies numériques. Il en va tout particulièrement des « infractions de contenu », qu'elles relèvent des infractions prévues par la loi de 1881 relative à la liberté de la presse et qui peuvent s'appliquer *in extenso* lors de publications sur Internet (diffamation, incitation à la haine raciale, provocation aux crimes et délits, etc.), ou qu'elles concernent le Code de la Propriété Intellectuelle (contrefaçon de musique, film, livre, etc.), le Code de la Santé Publique (apologie et incitation à l'usage des produits stupéfiants, publicité pour le tabac). Il en va de même de l'atteinte à la vie privée ou à la représentation de la personne [9] (ex. : diffusion sur Internet de photographies « papaazzi » ou de photographies prises dans l'intimité du couple), ou encore de la mise en péril des mineurs [10] (corruption de mineurs – l'utilisation à ces fins d'un réseau de communications électroniques étant une

²⁹ *Short Message Service* ; en français, on utilise parfois le terme « texto ».

³⁰ Exemples de logiciels de messagerie instantanée : MSN Messenger, Windows Live Messenger, Yahoo! Messenger, Google Talk, ICQ, AIM, mIRC...

³¹ VoIP : *Voice over IP* (voix sur IP) : protocole Internet permettant de téléphoner – généralement gratuitement ou à des tarifs très compétitifs, via un logiciel (ex. : Skype, Wengo, Gizmo, PalTalk, TeamSpeak, etc), grâce à un microphone et une sortie-son (haut-parleurs ou casque) branchés sur l'ordinateur. De nombreux logiciels de messagerie instantanée offrent, outre leur fonction initiale, la possibilité de téléphoner en VoIP.

circonstance aggravante, propositions sexuelles à un mineur en utilisant un moyen de communication électronique, détention ou diffusion d'image ou représentation d'un mineur à caractère pornographique, etc.). On peut également citer les infractions relatives à la vente de produits ou services contrôlés ou prohibés, qui peuvent être réalisées par Internet, qu'elles relèvent du Code de la Santé Publique (ex. : vente de produits pharmaceutiques, de tabac ou d'alcool), du Code des Douanes (ex. : contrefaçon de marques, importation de tabac), du Code de la Consommation (information des consommateurs, pratiques commerciales déloyales, réglementées ou illicites, clauses abusives, conformité et sécurité des produits et services, crédit³², etc.) ou des lois portant sur les loteries, courses de chevaux et jeux de hasard [11 ; 12 ; 13].

- Les infractions dont l'objet-même est constitué par les technologies numériques, et qui sont donc substantielles de ces dernières. Il s'agit essentiellement des atteintes aux STAD [14], des atteintes aux droits de la personne résultant des fichiers ou des traitements informatiques [15], de la contrefaçon de carte bancaire [16], de la captation frauduleuse de programmes télédiffusés payants [17], des appels téléphoniques malveillants [18], du « *happy slapping* [19] », des prospections commerciales non sollicitées [20], ainsi que divers autres textes (contrôle des moyens de cryptologie [21], obligations des opérateurs de communications électroniques et des hébergeurs de contenus sur Internet [22 ; 23], etc.).

Le cœur de la cybercriminalité est la troisième catégorie d'infractions, mais elle s'étend également à la deuxième.

Plus généralement, bien au-delà des deux dernières catégories d'infractions citées *supra*, il apparaît clairement que, dès lors qu'à l'occasion de la commission d'une infraction a été utilisé un ordinateur, un téléphone, une carte bancaire ou tout autre support de stockage de données, tout appareil électronique ou tout dispositif servant à communiquer sur un réseau (cf. paragraphes 1.3 et 1.4), l'exploitation de la preuve numérique peut s'avérer déterminante. En bref, toutes les enquêtes sont potentiellement concernées !

Ainsi, contrairement à une idée fort répandue, les enquêtes pour atteintes aux STAD occupent une place statistiquement marginale dans l'activité quotidienne des experts de la police technique et scientifique : la prégnance de la preuve numérique est donc beaucoup plus vaste que le simple domaine du « piratage informatique », image d'Épinal très réductrice de la cybercriminalité.

La typologie des affaires pour lesquelles les experts sont sollicités pour exploiter des éléments de preuve numérique reflète donc les statistiques générales des crimes et délits et comporte notamment :

- les homicides (ex. : recherche d'e-mails de menaces, recherche de journal intime sous forme de fichier-texte, recherche de SMS mettant en évidence des tensions dans le couple, etc.) ;
- les viols, les infractions à caractère pédopornographique, les affaires de mœurs (ex. : recherche de photos et vidéos) ;
- la délinquance économique et financière (ex. : recherche de fichiers de comptabilité, de contrats de travail, d'ordres de mouvements de fonds, etc.) ;
- la criminalité organisée (trafics de stupéfiants, d'armes, de véhicules volés, etc.), pour laquelle les enquêteurs cherchent tout particulièrement à déterminer les liens entre les personnes (ex. : recherche de répertoire téléphonique, de carnet d'adresses d'e-mails, recherche d'e-mails ou de SMS de prises de commandes ou d'avis de livraison, interception de communications, etc.) ;
- la contrefaçon (ex. : recherche de programmes de lecture et de réencodage de cartes à pistes magnétiques, recherche de fichiers contenant des œuvres de l'esprit contrefaites, etc.) ;
- etc.

³² Parmi les nombreuses infractions prévues et réprimées par le Code de la Consommation, on peut également citer la modification ou suppression frauduleuse de numéro de série d'identification électronique (article L217-2 et suivants), tel que l'IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) des téléphones portables.

2.2. Acte d'enquête ou expertise judiciaire ?

Historiquement, la notion de preuve numérique a commencé à apparaître :

- D'une part dans les enquêtes relatives à la délinquance économique et financière, au moment où les milieux professionnels concernés (en particulier les banques) – qui faisaient alors figure de « pionniers » – basculaient progressivement d'une comptabilité papier à une comptabilité informatique, et où les enquêteurs ont eu besoin d'outils automatisés (programmes informatiques) pour exploiter ces éléments de comptabilité (faire des calculs, mettre en évidence des liens entre comptes bancaires et donc entre individus, etc.). Ceci explique que, dans de nombreuses forces de police françaises et étrangères, les unités de lutte contre la cybercriminalité ou d'exploitation de la preuve numérique figurent dans les mêmes structures administratives que les unités chargées de la lutte contre la délinquance économique et financière. De même, cela explique que certaines unités d'enquête, en particulier les unités de lutte contre la délinquance économique et financière, aient développé très tôt des compétences particulières dans le domaine de l'exploitation de la preuve numérique.
- D'autre part dans toutes les enquêtes (notamment les enquêtes criminelles lourdes, telles que les homicides) où la masse d'informations collectée par les enquêteurs était si considérable que les recoupements et la mise en évidence de détails suspects n'était possible dans un temps raisonnable qu'au travers de l'outil informatique (tableurs, gestionnaires de bases de données, logiciels d'analyse criminelle, etc.). Il convient à cet égard de noter que l'usage de logiciels s'est imposé d'autant plus rapidement dans certains domaines que les entreprises ou administrations requises par les enquêteurs se sont mises à donner des réponses sous forme de fichiers informatiques (ex. : bases de données comptables, journaux de connexion des opérateurs de téléphonie fixe ou mobile³³, etc.).

Plus généralement, les technologies numériques étant largement utilisées comme « outil logistique » à l'occasion de la commission d'infractions (cf. paragraphe 2.1), leur omniprésence impose à toute unité d'enquête un socle de connaissances minimum dans le domaine de l'exploitation de la preuve numérique. S'il est inconcevable qu'un enquêteur ne sache pas lire, il est également inconcevable aujourd'hui qu'une unité d'enquête ne sache pas (par exemple) exploiter des documents bureautiques dans un ordinateur, ou ne puisse pas faire appel à un spécialiste de proximité dans le traitement de la preuve numérique.

Enfin, dans de nombreuses affaires judiciaires, l'expert en technologies numériques (et plus particulièrement l'expert informatique) se trouve confronté à une quantité gigantesque de documents (des centaines de fichiers bureautiques de type Microsoft Word ou Adobe Acrobat, des milliers d'e-mails, des dizaines de milliers de photos et vidéos, etc.), et cette quantité s'accroît proportionnellement à la capacité de stockage des supports numériques, les utilisateurs ayant une tendance naturelle à « occuper l'espace libre ». L'expert doit conserver son impartialité et, pour éviter les risques de subjectivité, doit garder une certaine distance avec l'enquête : ainsi il n'a pas forcément connaissance de tous les actes de procédure, des auditions, des procès-verbaux de perquisitions et saisies, etc. Dès lors, l'expert n'est pas toujours en mesure, parmi les milliers de documents dont il prend connaissance au cours de son analyse, de « faire le tri » entre les documents pertinents et les documents sans intérêt pour l'enquête. Il en découle pour l'expert un risque de « passer à côté » d'éléments importants, ou une charge de travail supplémentaire pour les enquêteurs ou le magistrat lorsque l'expert reporte la responsabilité du tri sur le requérant.

Ce dilemme est de plus en plus souvent résolu par la formation ou l'affectation au sein des unités d'enquêtes de personnels spécialisés dans les analyses de supports numériques (disques durs, fichiers, téléphones portables, etc.), ce qui rend parfois peu lisible la frontière entre expertise judiciaire et acte d'enquête. L'une des missions de ces enquêteurs spécialisés « de soutien » peut en particulier consister en une analyse sommaire de première intention, ayant pour objectif un triage de masse des supports numériques, visant à séparer les supports les plus pertinents (qui feront l'objet d'une analyse ultérieure plus approfondie, par exemple par

³³ Le jargon policier utilise souvent le terme de « fadet » (facturation détaillée). Le Code des Postes et Communications Electroniques français impose aux opérateurs la conservation de « données de connexion » à des fins judiciaires pendant 1 an.

un expert judiciaire) des supports les moins pertinents (qui ne feront l'objet d'aucune autre analyse et pourront même être restitués). Au sein de la gendarmerie nationale française, ces enquêteurs sont appelés « N-TECH » (technologies numériques) et sont plus de 200 répartis sur tout le territoire ; leurs homologues dans la police nationale sont appelés « ICC » (investigateurs en cybercriminalité³⁴).

3. Moyens d'obtention de la preuve numérique, et difficultés y afférant

3.1. Perquisitions et saisies

Après les constatations judiciaires en sources ouvertes (cf. paragraphe 3.4), le moyen le plus simple et le plus direct d'obtenir un élément de preuve numérique est sans doute la perquisition (hormis la remise volontaire aux forces de l'ordre dudit élément par son propriétaire ou utilisateur légitime). Outre les difficultés juridiques mentionnées *infra*, la perquisition aux fins de saisie de la preuve numérique est rendue délicate par au moins 3 facteurs :

3.1.1. La preuve numérique peut revêtir de très nombreuses formes

La preuve numérique peut revêtir de très nombreuses formes (*voir paragraphes 1.3 et 1.4*), dont l'enquêteur n'a pas toujours pleinement conscience. De très nombreux objets de la vie courante permettent de stocker des données : ainsi un cadre d'affichage photo numérique, un lecteur MP3 (ex. : iPod), un dictaphone numérique ou un baladeur vidéo (ex. : Archos) peuvent tous cacher des fichiers quelconques (photos, vidéos, fichiers bureautiques, e-mails, etc.), bien au-delà de leurs simples fonctionnalités de base ; ils renferment tous de la capacité de stockage et sont tous « reconnus » comme des clés USB lors de leur connexion à un ordinateur. Au même titre que certains magnétoscopes à disque dur, une « box ADSL³⁵ » (ex. : Freebox, 9Box, etc.) peut enregistrer non seulement des émissions de télévision, mais aussi tout type de fichier personnel de l'utilisateur. Une console de jeux vidéo (ex. : Xbox, PlayStation, Wii, Nintendo, etc.) permet de se connecter à Internet, de stocker des fichiers et de les partager avec d'autres joueurs distants. Un « *smart-phone*³⁶ » permet non seulement de téléphoner, mais aussi de naviguer sur Internet, de prendre et stocker des photos et vidéos, de créer et enregistrer des documents bureautiques, ou encore de conserver des lieux ou itinéraires favoris grâce à la fonction GPS (*Global positioning system*).

3.1.2. Objets numériques dissimulés aux yeux des enquêteurs.

Parmi ces très nombreux objets numériques, certains peuvent être dissimulés facilement aux yeux des enquêteurs. Il en va ainsi des disques durs WiFi³⁷ : alimentés sur batterie (et ne nécessitant donc aucune prise électrique), et accessibles sans fil par voie radio, ils peuvent être cachés dans un grenier, une cabane de jardin ou même un faux-plafond ; leur détection est possible mais nécessite la mise en œuvre de moyens spécifiques, heureusement peu coûteux. Plus périlleuse est la recherche des cartes d'extension-mémoire amovibles (pour appareils-photos numériques, caméscopes, téléphones portables, cadres d'affichage photo numérique, etc.) : leur capacité de stockage actuelle n'a plus rien à envier aux disques durs d'il y a quelques années, et leur format peut être extrêmement réduit³⁸ : avec un peu d'imagination, une très grande quantité de données peut donc être cachée sans difficultés.

³⁴ Anciennement « ESCI » (enquêteurs spécialisés en criminalité informatique).

³⁵ Modem ADSL évolué.

³⁶ Téléphone portable multi-fonctions.

³⁷ Wireless Fidelity.

³⁸ Les cartes microSD, MMCmicro et Memory Stick Micro mesurent toutes moins de 1,5 cm de côté!

3.1.3. Stockage de données à distance

D'innombrables solutions sont proposées aujourd'hui permettant à un utilisateur, particulier ou professionnel, de stocker ses données à distance (c'est-à-dire sur une machine située dans un autre endroit physique, mais accessible par un réseau informatique ou de télécommunications, tel qu'Internet). Au sein des entreprises multisites (et, *a fortiori*, au sein des entreprises multinationales), un employé travaillant dans le lieu A peut ainsi stocker des données sur le serveur situé dans le lieu B grâce au réseau intranet mis en place par son employeur ; en cas de télétravail (mise en place d'un réseau de type « extranet »), il peut même accéder à ses données personnelles depuis son domicile ! Par ailleurs, certaines entreprises ont fait le choix de confier la gestion du stockage et de la sauvegarde de certaines de leurs données à des sociétés tierces (« *Outsourcing* dans un *datacenter* ») dont les serveurs sont extérieurs à la société-cliente. Le risque de perte des données est ainsi externalisé, le coût associé et l'indemnisation en cas d'incident d'exploitation sont bien identifiés, et la gestion des opérations est assurée par un professionnel spécialisé dans ce domaine, sans avoir besoin de recruter et/ou former des personnels dédiés. Pour simplifier la sécurisation, l'administration et la mise à jour de leurs ordinateurs, certaines entreprises ont également choisi de « virtualiser les postes de travail » : les ordinateurs des employés sont de simples terminaux de saisie et d'affichage, et tout le système (système d'exploitation, programmes, données) est en réalité stocké sur des serveurs centraux, sans même que les utilisateurs en aient conscience. Outre ces solutions professionnelles, de nombreuses solutions grand public sont également disponibles via Internet. Chacun peut ainsi disposer, gratuitement ou pour un coût modique, d'un « bureau virtuel en ligne » (l'agenda, les programmes, les fichiers sont conservés et lancés sur un serveur distant), d'un espace de stockage de données personnel et sécurisé en ligne (albums-photos, vidéothèque, sauvegarde de fichiers, etc.), ou encore d'un compte de courrier électronique en ligne (« *webmail* »). Ceci évite d'encombrer son ordinateur *d'e-mails* et de carnets d'adresses tout en consultant ces derniers depuis n'importe quel ordinateur dans le monde, pourvu qu'il soit connecté à Internet.

En droit français, la perquisition répond à des impératifs juridiques stricts et clairement définis qui, en particulier, interdisent aux enquêteurs et magistrats toute opération à l'insu du suspect. Sauf dans certains cas bien spécifiques³⁹, la perquisition se déroule donc en présence de la personne mise en cause qui assiste à la fouille de son domicile, de son véhicule et/ou de son bureau, et qui a donc parfaitement conscience que les forces de l'ordre saisissent son ordinateur, son téléphone, sa carte bancaire, etc., pour les mettre sous scellés.

Contrairement à une idée reçue, largement véhiculée par les films et séries télévisées, et alimentée par les associations de citoyens vigilantes face au risque « d'Etat Big Brother », le droit français proscrit ainsi de façon ferme et absolue le « piratage légal ». Dans aucune enquête judiciaire les enquêteurs et/ou les magistrats n'ont le droit de procéder ou faire procéder au piratage de l'ordinateur ou du téléphone du suspect, à distance et à son insu, pour copier, analyser ou espionner en secret les données que ces objets contiennent. Il convient cependant de préciser que ces pratiques sont techniquement possibles, qu'elles sont parfois mises en œuvre par des services de renseignement français ou étrangers, et que certains grands pays démocratiques les autorisent à des fins judiciaires dans des conditions bien encadrées (ex. : Canada). Ces pratiques nécessitent généralement l'installation d'un « mouchard » matériel ou logiciel⁴⁰, soit par accès physique à la machine du mis en cause, discrètement et à l'insu de ce dernier, soit par accès informatique distant. Il convient également de noter que, face à l'utilisation croissante de moyens de communications sur Internet

³⁹ Si la perquisition ne peut être retardée et que la personne mise en cause est dans l'impossibilité absolue de se déplacer (ex. : hospitalisation, voyage à l'étranger, etc.), la perquisition peut être conduite en présence de 2 témoins (qui ne peuvent être membres des forces de l'ordre menant l'opération).

⁴⁰ Parfois appelé « *keylogger* » (enregistreur de frappe-clavier) ; cette appellation est cependant restrictive, les « *keyloggers* » ne permettant pas d'avoir le contrôle total de la machine suspecte à distance.

(ex. : Skype, Windows Live Messenger, etc.) rendant plus complexes certaines interceptions (*voir paragraphe 3.3*), le Code de Procédure Pénal français pourrait prochainement s'adapter et ouvrir de nouvelles possibilités aux enquêteurs et magistrats⁴¹.

De même, ces conditions strictes de perquisition interdisent (ou à tout le moins encadrent très fortement), en droit français, l'accès à des données privées « en ligne » du mis en cause à l'insu de ce dernier par les enquêteurs ou magistrats. Plus précisément, l'article 57-1 du Code de Procédure Pénale précise que les données privées stockées de façon distante ne peuvent être consultées et saisies dans le cadre de l'enquête que si toutes les conditions suivantes sont réunies :

- les conditions de la perquisition sont respectées (en particulier, présence du mis en cause (ou éventuellement de 2 témoins impartiaux) ;
- les données distantes sont accessibles et on y accède depuis le lieu de la perquisition d'origine, et avec le système d'origine, dans sa configuration d'origine (ce qui exclut donc en particulier une intervention depuis le bureau des enquêteurs avec l'ordinateur des enquêteurs) ;
- les données distantes sont stockées en France (ou dans un pays étranger ayant signé un accord de coopération judiciaire avec la France).

Précisons également que l'accès aux comptes de messagerie électronique en ligne (« *webmail* ») peut être réalisé soit dans les conditions de la perquisition (en présence du mis en cause), soit grâce à une interception de communications (*voir paragraphe 3.3*).

Enfin il convient de noter que les officiers et agents de police judiciaire ne sont pas les seuls agents de l'Etat à disposer d'un droit de perquisition et de saisie, même si le terme « perquisition » n'est pas nécessairement employé comme tel dans les autres cas. Il en va ainsi notamment (liste non exhaustive) :

- des agents des douanes (« visites domiciliaires⁴² ») ; l'article 65 du Code des Douanes précise ainsi que « les agents des douanes (...) peuvent exiger la communication des papiers et documents de toute nature relatifs aux opérations intéressant leur service, quel qu'en soit le support » et que « au cours des contrôles et des enquêtes opérés chez les personnes ou sociétés (...), les agents des douanes (...) peuvent procéder à la saisie des documents de toute nature » ;
- des agents de l'inspection du travail [24](« droit d'entrée et de prélèvement ») ; l'article L8113-4 du Code du Travail stipule ainsi qu'ils « peuvent se faire présenter (...) l'ensemble des livres, registres et documents (...) », l'article L8113-5 qu'ils « peuvent se faire communiquer tout document ou tout élément d'information, quel qu'en soit le support », et l'article L8113-6 précise que « (...) les entreprises peuvent (...) déroger à la conservation des bulletins de paie et à la tenue de certains registres pour tenir compte du recours à d'autres moyens, notamment informatiques » ;
- des enquêteurs de l'Autorité des Marchés Financiers (AMF) ; l'article L621-12 du Code Monétaire et Financier précise ainsi que, dans le cadre de la constatation des délits d'initié et des manipulations de cours de Bourse, les agents de l'AMF sont autorisés à « effectuer des visites en tous lieux ainsi qu'à procéder à la saisie de documents », et l'article L621-10 précise qu'ils peuvent « pour les nécessités de l'enquête, se faire communiquer tous documents, quel qu'en soit le support » ;
- des agents de l'Autorité de la Concurrence ; dans le cadre de la lutte contre les pratiques anticoncurrentielles et contre la concentration économique, l'article L450-3 du Code du Commerce autorise ainsi ces agents à « accéder à tous locaux (...) à usage professionnel, demander la communication des livres, factures et tous autres documents professionnels et en obtenir ou prendre copie par tous moyens et sur tous supports » ; l'article L450-4 ajoute qu'ils peuvent en outre « procéder aux visites en tous lieux ainsi qu'à la saisie de documents et de tout support d'information » ;

⁴¹ Le projet de loi dit « LOPPSI 2 », dans son article 23 créant les articles 706-102-1 et suivants du Code de Procédure Pénal, prévoit ainsi la possibilité de « mettre en place un dispositif technique ayant pour objet, sans le consentement des intéressés, d'accéder, en tous lieux, à des données informatiques, de les enregistrer, de les conserver et les transmettre, telles qu'elles s'affichent sur un écran pour l'utilisateur (...) ou telles qu'il les y introduit par saisie de caractères ».

⁴² Articles 63ter et suivants du Code des Douanes.

- des agents du Ministère de la Santé (ex. : pharmaciens et médecins inspecteurs de santé publique⁴³) ; l'article L1421-3 du Code de la Santé Publique précise ainsi que « pour les opérations faisant appel à l'informatique, ils ont accès aux logiciels et aux données ; ils peuvent en demander la transcription par tout traitement approprié dans des documents directement utilisables pour les besoins du contrôle » ;
- des inspecteurs de radioprotection de l'Autorité de Sûreté Nucléaire⁴⁴ ; l'article L1337-1-1 du Code de la Santé Publique indique par exemple que ces agents « disposent du droit d'accéder à tous les lieux et toutes les installations à usage professionnel (...) » et qu'ils « peuvent également, aux mêmes fins, accéder aux données informatiques et les copier sur tout support approprié (...) et saisir tous objets, produits ou documents utiles (...) ».

3.2. Réquisitions judiciaires

De nombreuses entreprises et administrations détiennent, alimentent et gèrent des fichiers pour leurs besoins internes. Qu'il s'agisse de bases de données de clients ou d'utilisateurs, de fichiers servant à rendre des services plus efficaces aux clients ou usagers (suivi des réservations et des abonnements, suivi des consommations en cas de réclamations, service après-vente, etc.), de fichiers de comptabilité, de fichiers ayant pour but la sécurité interne ou encore la lutte contre la fraude, ces fichiers peuvent présenter un intérêt pour des enquêteurs dans le cadre de la recherche de la manifestation de la vérité. Même s'il est impossible de dresser une liste exhaustive de tels fichiers, on peut notamment citer :

- les fichiers des compagnies aériennes, ferroviaires et maritimes, et des entreprises ou régies de transports en commun (état-civil et coordonnées des passagers, moyens de paiement utilisés, trajets effectués, date des voyages, préférences alimentaires⁴⁵, etc.) ;
- les fichiers des organismes bancaires et de crédit (liste des comptes, état-civil et coordonnées des titulaires, extraits de comptes, liste des virements permanents, détails de l'utilisation des moyens de paiement, etc.) ;
- les fichiers des opérateurs de communications électroniques (téléphonie fixe, téléphonie mobile, fournisseurs d'accès Internet, fournisseurs de services en ligne, etc.) : état-civil et coordonnées des clients (abonnés ou non), moyens de paiement utilisés, détails des appels, journaux de connexions aux serveurs (« logs »), etc. ;
- les fichiers des organismes publics ou privés gestionnaires de logements ;
- les opérateurs de distribution de l'énergie ;
- les fichiers de certaines administrations (impôts, URSSAF, Sécurité Sociale, caisses de retraite, etc.) ;
- etc.

Tous ces fichiers sont assujettis à la loi dite « **informatique et libertés** », font l'objet de déclarations⁴⁶ à la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) et sont soumis à la possibilité de contrôles (y compris inopinés) par cette dernière sur l'adéquation entre leur but déclaré et leur utilisation réelle. Contrairement à une idée largement répandue, l'accès à ces fichiers par les services enquêteurs n'est ni libre, ni direct, ni universel, ni permanent.

Ainsi, qu'il se trouve à son bureau ou qu'il se déplace dans les locaux d'une entreprise ou administration, et hors le cas de la perquisition, jamais l'enquêteur ne peut « naviguer » dans l'un quelconque de ces fichiers⁴⁷.

⁴³ Articles L1421-1 et suivants du Code de la Santé Publique.

⁴⁴ Article L1333-17 du Code de la Santé Publique.

⁴⁵ De nombreuses compagnies aériennes offrent aux passagers la possibilité de réserver à l'avance un plateau-repas végétarien, *kasher*, *hallaal*, etc.

⁴⁶ A l'exception des dispositions des articles R-15-33-67 à R-15-33-75 du Code de Procédure Pénale, qui prévoient dans certaines circonstances que les informations sollicitées par l'officier de police judiciaire puissent être mises à disposition par un accès temporaire et limité à la base de données de l'organisme ou de la personne morale sollicitée. Cette possibilité est assujettie à la signature d'un protocole entre l'Etat et des organismes ou personnes morales limitativement énumérés.

⁴⁷ A l'exception bien entendu des fichiers purement policiers, administrés par le Ministère de l'Intérieur lui-même (ex. : Fichier des Personnes Recherchées, Fichier National des Permis de Conduire, etc.).

Dès lors, sa seule possibilité est d'adresser une réquisition judiciaire à l'administrateur en charge du fichier, par écrit ou par voie électronique, comme cela est prévu et autorisé par le Code de Procédure Pénale (articles 60-1, 77-1-1 et 99-3). Le délai de réponse varie de quelques minutes à plusieurs semaines (parfois même plusieurs mois dans le cas d'organismes, entreprises ou administrations étrangers... si tant est qu'ils répondent !), et la prestation est généralement payante⁴⁸. La réponse obtenue est un extrait (papier ou numérique) de la base de données interrogée, sans interactivité « en temps réel » entre l'enquêteur et l'administrateur de la base de données. Toute erreur de formulation de la réquisition conduisant à une réponse inadaptée aux besoins de l'enquêteur nécessite donc l'établissement d'une nouvelle réquisition, avec de nouveaux délais de réponse et une nouvelle facturation.

A titre d'exemple, les opérateurs de téléphonie français ont chacun mis sur pied un service *ad hoc* entièrement dédié au traitement des réquisitions judiciaires ; employant jusqu'à plusieurs dizaines de personnes à temps plein, ces services gèrent plusieurs milliers de réquisitions chaque année. Le coût de chaque réquisition est de l'ordre de quelques dizaines d'euros.

Malgré les efforts d'uniformisation, notamment au niveau de l'Union Européenne, la législation varie grandement d'un pays à un autre dans le monde sur la conservation des données, en particulier des données dites « données de connexion » des opérateurs de communications électroniques. Dans les pays n'imposant aucune obligation minimum de conservation (ni sur la nature des données conservées, ni sur leur durée), les contrastes peuvent être forts entre les opérateurs qui ne conservent les données que quelques jours (voire pas du tout!) et ceux qui les conservent plusieurs années, ou entre les opérateurs qui répondent gratuitement aux demandes des forces de l'ordre et ceux qui utilisent pour argument commercial l'entrave à toute collaboration avec les enquêteurs (ex. : « *bulletproof web hosting* » ou « hébergeurs Internet à l'épreuve des balles »)! [25 ; 26]

3.3. Interceptions de communications électroniques

Les interceptions de communications électroniques (« écoutes téléphoniques ») sont, en France, prévues et autorisées dans des conditions strictement définies par la loi n°91-646 du 10 juillet 1991 relative au secret des correspondances émises par la voie des communications électroniques.

D'un point de vue juridique, il convient ainsi de distinguer :

3.3.1. Les interceptions légales (En anglais: « *lawful interceptions* ») :

- les interceptions ordonnées par l'autorité judiciaire (article 2 de la loi, articles 74-2, 100 et 706-95 du Code de Procédure Pénale), conduites dans le cadre d'une enquête judiciaire, la plupart du temps – le cas échéant - avec la collaboration de l'opérateur de communications électroniques⁴⁹ ; la Délégation aux Interceptions Judiciaires (DIJ), au sein du Ministère de la Justice [27], est notamment chargée de veiller à la rationalisation des interceptions judiciaires, aussi bien en termes de procédures, de moyens techniques que de coûts ;
- les interceptions de sécurité (articles 3 à 19 de la loi), conduites par le Groupement Interministériel de Contrôle (GIC), la plupart du temps – le cas échéant - avec la collaboration de l'opérateur de communications électroniques, sous le contrôle de la Commission Nationale de Contrôle des Interceptions de Sécurité (CNCIS) ;

⁴⁸ Le Code des Postes et Communications Electroniques précise ainsi, dans son article L34-1 : « Un décret en Conseil d'Etat (...) détermine (...) les modalités de compensation, le cas échéant, des surcoûts identifiables et spécifiques des prestations assurées à ce titre, à la demande de l'Etat, par les opérateurs. »

⁴⁹ Même si la coopération des opérateurs est la plupart du temps indispensable, il existe des scénarios selon lesquels ils ne sont d'aucune utilité : c'est notamment le cas des interceptions de données sur un réseau informatique local (ex. : intranet d'entreprise, réseau Wifi dit « *ad hoc* », etc.), ou des interceptions de voix entre des terminaux de type *talkie-walkie*, qui communiquent directement de poste à poste sans aucune infrastructure.

- les interceptions de communications par voie hertzienne conduites par les armées dans le strict cadre de la Défense Nationale (article 20 de la loi) : cette activité de recherche du renseignement d'origine électromagnétique (ROEM) est surnommée « guerre électronique ».

3.3.2. Les interceptions illégales ou « sauvages »

Les interceptions illégales ou « sauvages », sont toutes celles qui n'entrent pas dans les champs précédents. Il en va en particulier des interceptions réalisées par des « hackers » (Pirates informatiques) avec des « trojans⁵⁰ » ou des attaques de type « *man in the middle* », par exemple sur des points d'accès WiFi à Internet⁵¹.

3.3.3. Les différents types d'interceptions de communications électroniques

D'un point de vue strictement technique, les interceptions de communications électroniques couvrent un champ bien plus vaste que les simples « écoutes téléphoniques ». On peut ainsi, théoriquement, intercepter :

- des communications orales, quelle que soit la technologie employée, qu'elle soit filaire ou hertzienne (téléphonie fixe « classique⁵² », téléphonie fixe par ADSL, téléphonie IP ou voix sur IP⁵³, téléphonie mobile, moyen radio de type *talkie-walkie*, etc.) ;
- des communications écrites, quelle que soit la technologie employée, qu'elle soit filaire ou hertzienne (SMS, courrier électronique, dialogue en direct de type *chat*, etc.) ;
- plus généralement, tout type de données transitant sur un réseau de communications électroniques, qu'il soit filaire ou hertzien (fax, MMS, contenu des pages *web* visitées par un internaute, contenu des fichiers échangés sur des réseaux *peer-to-peer*, etc.).

Selon les cas et les technologies, l'interception est réalisée à la source (émetteur), à la destination (récepteur), à un nœud d'interconnexion du réseau par lequel transitent et sont routées (*aiguillées*) de nombreuses communications, ou encore en plein air (réseaux de communications électroniques sans fil / radio⁵⁴). Il convient de préciser que l'organisme de normalisation international ETSI (European Telecommunications Standards Institute) a, de longue date, mis en place un comité technique dédié⁵⁵, ayant pour mission de prévoir dans toute norme de communication des possibilités de « branchement » aux fins d'interceptions légales ; cette norme, au même titre que les autres normes rédigées et émises par l'ETSI dans d'autres champs d'application, a vocation à s'imposer à tout fabricant de matériel professionnel ou grand public.

3.3.4. Résultat de l'interception électronique et rôle de l'expert

Le résultat d'une interception de communications électroniques est un fichier informatique (ou une série de tels fichiers) qui, lu(s) avec des logiciels adaptés, permet(tent) une retranscription fidèle du contenu de la communication tel qu'écrit, lu, prononcé, entendu, envoyé ou reçu par la cible de l'interception. Le rôle de l'expert judiciaire consiste à venir en appui des enquêteurs et magistrats pour, selon les cas :

⁵⁰ Chevaux de Troie (programmes-espions), installés à l'insu de la victime sur son ordinateur et commandables à distance depuis un autre ordinateur à travers un réseau (par exemple Internet).

⁵¹ Dans une telle configuration, une victime se connecte à l'origine à Internet en passant par un point d'accès Wifi (ex. : borne publique de gare, d'aéroport, d'établissement de restauration rapide, etc.). A l'insu de sa victime, l'attaquant installe un deuxième point d'accès Wifi et force la victime à se connecter à Internet via cette deuxième borne, tout en empêchant la borne légitime de fonctionner normalement. La victime ne se rend compte de rien, puisque sa connexion Internet est maintenue, mais l'attaquant peut espionner toutes ses communications.

⁵² Réseau Téléphonique Commuté (RTC)

⁵³ Exemples de logiciels de VoIP (*Voice over IP*) : Skype, Windows Live Messenger, Google Talk, ICQ, etc.

⁵⁴ Exemples : Wifi, GSM, etc. En l'absence de mise en œuvre des outils de sécurité prévus (authentification, chiffrement, etc.), ou si des moyens d'attaques adaptés sont utilisés, ces réseaux se prêtent particulièrement bien à des interceptions « sauvages », les ondes ne pouvant par nature pas être confinées, se diffusant partout aux alentours et étant ainsi « écoutables » par tous.

⁵⁵ Le *Technical Committee on Lawful Interception* (TC LI). Pour davantage de détails, voir le lien Internet suivant : <http://portal.etsi.org/li/Summary.asp>

- identifier les technologies et protocoles utilisés à l'occasion des communications de la cible, et ainsi en déduire la façon de procéder pour mettre en place l'interception ; cette étape peut également consister à identifier la ligne physique, l'abonnement ou l'opérateur de la cible⁵⁶ ;
- mettre en place, configurer et lancer les outils d'interception⁵⁷ ;
- extraire les fichiers de résultats, au besoin les convertir dans un autre format afin qu'ils soient exploitables, et les retranscrire sous une forme humainement intelligible et compréhensible de tous dans une procédure judiciaire ;
- à l'issue de la période d'interception, « débrancher » les outils d'interception et détruire les enregistrements⁵⁸.

3.4. Constatations judiciaires en sources ouvertes

En droit français, une procédure judiciaire ne peut être initiée ou poursuivie (par exemple après une plainte) qu'après qu'une personne assermentée a dûment constaté l'existence d'une infraction (ou au moins la présomption d'existence d'une infraction). La constatation de l'infraction ou de la présomption d'infraction peut nécessiter une mesure intrusive et attentatoire aux libertés individuelles (ex. : perquisition *voir paragraphe 3.1*). Mais elle peut également être effectuée « en sources ouvertes », c'est-à-dire sans aucune mesure coercitive, comme pourrait le faire tout citoyen avec ses propres moyens sans enfreindre une quelconque loi, en particulier lorsque l'infraction est commise sur le domaine public, par exemple sur Internet ou « visible depuis Internet ».

En France, les agents ou officiers de police judiciaire (qui ont prêté serment et sont donc assermentés) ont compétence quasi-universelle pour procéder à toute constatation⁵⁹, quel que soit le champ infractionnel, la loi ou le code visé. Aux termes des [articles 16 et suivants](#) du Code de Procédure Pénale, les gendarmes, les policiers, les policiers municipaux et les gardes champêtres (ainsi que, de façon plus anecdotique dans la pratique, les maires et leurs adjoints) constituent l'immense majorité des officiers et agents de police judiciaire.

Au sein de la gendarmerie nationale, la Division de Lutte contre la Cybercriminalité (DLCC) du Service Technique de Recherches Judiciaires et de Documentation (STRJD), basée à Rosny-sous-Bois, est plus particulièrement chargée de la constatation des infractions sur tous les protocoles de l'Internet (*web*, réseaux *peer-to-peer*, *newsgroups*, etc.), sous réserve que ces infractions soient « visibles publiquement ». A défaut, c'est sous le régime de la perquisition, de la réquisition ou de l'interception de communications que les infractions peuvent être constatées⁶⁰.

Pour les besoins de la constatation de certaines infractions, lorsque celles-ci sont commises par un moyen de communication électronique (ex. : Internet⁶¹), certains enquêteurs de la police et de la gendarmerie sont autorisés à participer sous un pseudonyme aux échanges électroniques, être en contact par ce moyen avec les personnes susceptibles d'être les auteurs de ces infractions, et à extraire, transmettre en réponse à une demande expresse, acquérir ou conserver des contenus illicites.

⁵⁶ L'article 100-1 du Code de Procédure Pénale prévoit ainsi que « la décision (...) doit comporter tous les éléments d'identification de la liaison à intercepter ».

⁵⁷ En droit français, seuls des matériels et logiciels agréés par une commission présidée par le Secrétaire Général à la Défense Nationale (SGDN) peuvent être utilisés (articles 226-3, R226-1 et suivants du Code Pénal).

⁵⁸ En droit français, les interceptions judiciaires sont limitées dans le temps et les enregistrements doivent être détruits après retranscription.

⁵⁹ Ainsi que les agents de police judiciaire adjoints (article 21 du Code de Procédure Pénale). Dans la suite du présent article, par soucis de simplicité, aucune distinction ne sera faite entre les agents de police judiciaire et les agents de police judiciaire adjoints.

⁶⁰ Des fichiers illicites (outils de piratage, images pédopornographiques, contrefaçons de films, etc) stockés dans un espace privé sécurisé sur Internet (serveur) et accessible par son seul propriétaire par saisie d'un identifiant (*login*) et d'un mot de passe confidentiels et personnels ne peuvent être visualisés, copiés et saisis par un enquêteur que sous le régime de la perquisition, ou sur réquisition de l'hébergeur. De même, sous réserve des dispositions des articles [L706-35-1](#) et [L706-47-3](#) du Code de Procédure Pénale, l'accès au contenu de conversations privées entre internautes sur un forum de discussion privatif, dont les membres sont sélectionnés sur des critères particuliers, ne peut se faire que sur perquisition chez l'hébergeur ou sur interception de communications.

⁶¹ Articles [L706-35-1](#) et [L706-47-3](#) du Code de Procédure Pénale.

Ces possibilités, introduites par la [loi n°2007-297 du 5 mars 2007](#), permettent notamment de contourner le problème posé jusqu'alors par certains sites ou forums Internet pédophiles, dont l'accès était ouvert gratuitement et à tous, sous réserve de fournir à titre de « droit d'entrée » des images ou vidéos pornographiques mettant en scène des mineurs. Elles permettent également de faciliter la constatation de l'infraction de propositions sexuelles à un mineur de quinze ans ou à une personne se présentant comme telle en utilisant un moyen de communication électronique⁶², l'enquêteur pouvant se faire passer pour un mineur (par exemple en utilisant le pseudonyme « Lucie 13 ans »), engager une conversation sur Internet avec un interlocuteur et attendre que celui-ci fasse des propositions.

Les [articles 15 et 28](#) du Code de Procédure Pénale ajoutent que la police judiciaire est également constituée des « fonctionnaires et agents auxquels sont attribuées par la loi certaines fonctions de police judiciaire » et qui, chacun, peuvent constater la commission d'infractions sur Internet. Il en va ainsi, notamment :

- des agents des douanes⁶³ ; il convient de noter que le Code des Douanes encadre la vente et l'importation – notamment par Internet - de nombreux produits et substances (cigarettes, produits stupéfiants, produits issus de la contrefaçon de marques, etc.) ;
- des agents assermentés par le Ministère de la Culture et de la Communication, désignés par le Centre National du Cinéma et de l'Image Animée, par les organismes de défense professionnelle de producteurs et par les sociétés de perception et de répartition de droits d'auteurs et des droits des artistes-interprètes et des producteurs de phonogrammes et de vidéogrammes⁶⁴, ainsi que les membres de la commission de protection des droits de la Haute Autorité pour la Diffusion des Œuvres et la Protection des droits sur Internet (HADOPI)⁶⁵ ; il convient de rappeler que le Code de la Propriété Intellectuelle encadre la diffusion – en particulier sur Internet – des œuvres de l'esprit protégées par des droits d'auteurs ou des droits de représentation (musiques, films, livres et bandes dessinées, logiciels, bases de données, etc.) ;
- des agents de la Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes (DGCCRF)⁶⁶ ; le Code de la Consommation encadre en effet – notamment sur Internet – l'information du consommateur par le vendeur et réprime les pratiques commerciales trompeuses ;
- des agents du Ministère de la Santé (ex. : pharmaciens et médecins inspecteurs de santé publique, en particulier ceux de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé devenue en 2012 agence nationale de sécurité des médicaments et des produits de santé ANSM) ; le Code de la Santé Publique encadre – notamment sur Internet – le commerce des produits biologiques (sang et organes humains), des médicaments (humains ou vétérinaires), des lentilles de contact, ainsi que la publicité pour de tels produits ou pour des cabinets médicaux ou établissements hospitaliers ;
- des agents de l'Agence Française de Lutte contre le Dopage (AFLD), aux termes de l'article L232-11 du Code du Sport ; il convient de noter que le Code du Sport interdit – notamment sur Internet – la vente de produits dopants humains ou vétérinaires ;
- des agents de l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS), de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) et des établissements publics des parcs nationaux ; le Code de l'Environnement interdit – notamment sur Internet – la vente de fossiles, d'espèces animales ou végétales protégées ou issues de réserves naturelles, ainsi que toute forme de publicité directe ou indirecte présentant un véhicule à moteur en stationnement ou en circulation dans un espace naturel classé (ex. : site Internet d'une entreprise de loisirs de plein air exposant des photographiques de *quads* circulant dans un ruisseau ou sur une plage).

⁶² Article [L227-22-1](#) du Code Pénal

⁶³ Voir notamment l'[article 28-1](#) du Code de Procédure Pénale et l'[article 453](#) du Code des Douanes.

⁶⁴ Exemples : SELL (Syndicat des Editeurs de Logiciels de Loisirs), APP (Agence de Protection des Programmes), SPPF (Société civile des Producteurs de Phonogrammes en France), SSCP (Société Civile des Producteurs Phonographiques), SACEM (Société des Auteurs, Compositeurs et Editeurs de Musique), SDRM (Société pour l'administration du Droit de Reproduction Mécanique), ALPA (Association de Lutte contre la Piraterie Audiovisuelle), etc.

⁶⁵ Articles [L331-2](#), [L331-21](#) et [L343-3](#) du Code de la Propriété Intellectuelle.

⁶⁶ Article [L215-1](#) du Code de la Consommation.

On peut enfin rappeler que certaines infractions ne peuvent être poursuivies que sur plainte de la victime ou d'ayants droit, sans que l'action publique ne puisse être déclenchée d'initiative. C'est notamment le cas des atteintes à la vie privée⁶⁷ et de certaines infractions commises par voie de presse (certaines diffamations et injures publiques, diffusion de l'image d'une personne menottée, etc.)⁶⁸ qui, toutes, peuvent être commises sur un réseau de communication électronique ouvert au public (ex. : Internet). Dans ces cas, un constat d'huissier payé par la victime peut s'avérer utile, la fugacité de la preuve pouvant éventuellement conduire à l'impossibilité ultérieure pour la justice de constater l'existence de l'infraction (ex. : disparition ou modification de la page *web* à l'occasion d'une mise à jour du site). De même, les constats d'huissier sont courants sur Internet dans le cadre de l'application du Code de la Propriété Intellectuelle et du Code du Commerce (contrefaçon d'œuvres de l'esprit ou de marques, concurrence déloyale)⁶⁹.

4. Le traitement de la preuve numérique

Le présent chapitre décrit principalement le traitement des supports de stockage de données numériques non volatiles liés à l'informatique ou à des terminaux mobiles grand public. Certains grands principes et certaines difficultés cités demeurent néanmoins vrais dans d'autres cas.

4.1. Extraction et copie des données

L'un des grands principes de la criminalistique, toutes spécialités confondues, consiste en la non-modification de l'élément de preuve analysé⁷⁰, afin :

- d'assurer la répétabilité et la reproductibilité des examens (obtenir les mêmes résultats en refaisant les mêmes examens),
- de préserver les possibilités de contre-expertise ou d'expertise complémentaire,
- de ne jeter aucun doute ni discrédit sur la bonne foi et la qualité du travail de l'expert (ex. : prouver que l'expert n'a pas ajouté ou supprimé des données incriminant ou disculpant le suspect).

Or l'un des principes fondamentaux de la physique quantique, « observer une particule modifie son état », valable à l'état microscopique pour des particules élémentaires, pourrait très bien être considéré comme valable à l'échelle macroscopique dans le domaine de la criminalistique numérique, indépendamment des lois de la physique !

Ainsi, le simple fait de mettre sous tension électrique un disque dur incrémente – à la manière du compteur kilométrique d'une automobile ou, comparaison plus fidèle encore, à la manière d'un compteur de consommation électrique domestique - des « compteurs d'usure⁷¹ » (qui ont heureusement un intérêt criminalistique généralement fort limité). Le simple fait de mettre en rotation ses plateaux magnétiques crée un risque de panne du moteur ou des têtes de lecture ; comme tout appareil électrique, électronique ou mécanique, un disque dur peut en effet tomber en panne, d'autant plus qu'il est utilisé ! Des technologies similaires sont mises en œuvre sur les supports de stockage non volatils utilisant la technologie électronique (mémoire Flash). Ainsi des algorithmes de « *wear-leveling* » (aplanisseur d'usure) et de « *Flash Translation Layer*

⁶⁷ Article L226-6 du Code Pénal.

⁶⁸ Article 48 de la loi du 29 juillet 1881 sur la liberté de la presse.

⁶⁹ Ex : « *cybersquatting* », ou utilisation d'une marque ou d'une partie d'un nom pour diriger des internautes vers une autre URL – adresse Internet – que celle légitimement attendue (ex. : l'entreprise Dupont ne contrôle que l'adresse www.entreprise-dupont.fr qui donne accès au contenu de son site *web*. En revanche l'adresse www.entreprise-dupont.com, contrôlée par l'entreprise concurrente Durand, dirige vers le contenu du site *web* de l'entreprise Durand : ainsi les internautes peu attentifs visitent le site Durand alors qu'ils avaient au départ l'intention de visiter le site Dupont).

⁷⁰ A défaut et à tout le moins, il convient de documenter les modifications qui n'ont pu être évitées.

⁷¹ La technologie SMART (*Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology*) sert notamment à surveiller l'usure d'un disque dur, à agir dès la détection d'une anomalie et à prévenir ainsi les pannes et pertes de données. Associée à d'autres fonctions vitales du disque dur (ex. : *G-List Remapper*), elle prévoit de nombreux indicateurs qui peuvent être modifiés automatiquement et à l'insu de l'utilisateur par une simple mise sous tension du disque (ex. : *Start/Stop Count, Reallocated Sectors Count, Power-On Hours, Power Cycle Count*, etc.). Ces fonctions peuvent même déplacer des données à l'intérieur du disque dur !

(FTL) » peuvent provoquer le déplacement de données d'un bloc à un autre sur le composant, automatiquement et à l'insu de l'utilisateur, au cours du fonctionnement de l'objet (clé USB, carte-mémoire, mémoire interne de téléphone portable, etc.). De tels déplacements peuvent provoquer l'écrasement définitif et la perte irrémédiable d'autres données (auxquelles l'utilisateur n'avait plus accès), sans pour autant que « l'expérience-client » (au sens *marketing* du terme) n'en soit altérée.

Par ailleurs, insérer un cédérom dans un lecteur CD peut, si l'on n'y prête pas attention, apposer les empreintes digitales de l'expert informatique sur la surface du disque. De même, la manipulation sans mesures préventives *ad hoc* du ruban adhésif sur un dispositif électronique de mise à feu d'engin explosif improvisé (ou *Improvised Explosive Device IED*) peut « polluer » les traces d'ADN laissées par le terroriste avec l'ADN de l'expert en électronique.

A ces risques « matériels » négligés par de nombreux experts, car souvent mal connus ou considérés comme mineurs ou peu impactants, s'ajoutent de nombreux risques de nature purement logicielle de modification des données, mieux connus et plus souvent pris en compte. Si dresser un inventaire exhaustif de ces risques paraît illusoire, on peut néanmoins en citer quelques exemples.

De nombreux systèmes d'exploitation (OS⁷²) mettent en œuvre des « fichiers-journaux » (*logs*), essentiellement à des fins de sécurité, d'administration (au sens informatique du terme) ou d'optimisation ; l'accès à de tels fichiers et l'utilisation desdits fichiers nécessitent des connaissances informatiques poussées. Ces fichiers recensent automatiquement de très nombreux événements ou opérations se déroulant au sein du système, avec mention de l'horodate correspondante. On peut ainsi y trouver les démarrages et extinctions de l'OS, le *login* (pseudonyme) du dernier utilisateur connecté, la liste des différents programmes récemment installés, la liste des derniers périphériques connectés (clés USB, appareils-photos numériques, imprimantes, etc.), la liste des réseaux WiFi auxquels l'utilisateur s'est récemment connecté, etc. Le simple démarrage d'un ordinateur et de son OS peuvent donc provoquer de multiples modifications de la preuve (sans même citer le rétablissement automatique éventuel de la connexion à Internet, la mise à jour automatique de programmes, le relevé automatique des boîtes de messagerie et l'envoi automatique des e-mails en attente, le déclenchement de tâches programmées à intervalles réguliers telles qu'une défragmentation du système de fichiers ou un « scan » complet par l'antivirus, etc.).

De nombreux systèmes d'exploitation enregistrent et actualisent en temps réel, pour chaque fichier, un triplet d'horodates, plus connu sous le terme MAC (*modification, last accessed, creation*)⁷³ : la date d'enregistrement du fichier (« *creation* »), la date de dernière modification du fichier (« *modification* ») et la date de dernier accès au fichier (« *last accessed* »). La simple lecture d'un fichier, sans précautions particulières, peut donc provoquer la mise à jour de la date de dernier accès audit fichier, et modifier ainsi la preuve !

De nombreux programmes conservent l'historique des dernières actions de l'utilisateur : liste des fichiers récemment lus/ouverts, liste des sites *web* récemment visités, liste des mots-clés récemment utilisés pour des recherches, etc. L'utilisation, sans précautions particulières, d'un ordinateur ou d'un téléphone portable sous expertise par l'expert conduit ainsi à la génération de nombreuses traces d'utilisation, qui viennent se mêler aux traces déjà existantes (par exemple celles du suspect ou de la victime), et qui peuvent même les effacer en les écrasant !

Afin d'éviter la plupart des modifications les plus courantes et les plus grossières (en particulier les modifications « logicielles »), le principe généralement reconnu consiste à conduire l'expertise non sur l'original, mais sur une copie intégrale et fidèle de ce dernier, ce que la technologie numérique permet dans la quasi-

⁷² *Operating System*. Exemples de systèmes d'exploitation pour ordinateurs : Windows (Windows 2000, Windows XP, Windows Vista, Windows 7, etc.), Macintosh (Mac OS 9, Mac OS X, etc.), Linux (Debian, SuSe, Ubuntu, RedHat, etc.), Unix (FreeBSD, NetBSD, System V, Solaris, etc), Novell (NetWare)... Exemples de systèmes d'exploitation pour téléphones portables et appareils mobiles : Windows (Windows Mobile), Research in Motion (RIM OS, équipant les terminaux BlackBerry), Macintosh (iPhone OS équipant les iPod Touch et iPhone), Symbian OS, Google Android, Linux, etc.

⁷³ Certains systèmes de fichiers enregistrent des horodates supplémentaires (ex. : « *MFT last modified* » pour les systèmes NTFS, « *erased* » pour certains systèmes de fichiers sous OS Unix / Linux, etc.).

totalité des cas. La preuve numérique, contrairement à beaucoup d'autres disciplines, est en effet généralement « clonable », au même titre que l'ADN est « amplifiable » et qu'une empreinte digitale peut être photographiée ou « scannée ». Il convient d'ailleurs de noter que le Code de Procédure Pénale français mentionne explicitement cette possibilité⁷⁴.

Cette copie intégrale et fidèle, appelée « image » ou « clone », contient la totalité des données du support original, que ces données soit ou non accessibles à l'utilisateur, et qu'elles aient ou non un intérêt pour l'enquête. Sont donc copiées aussi bien les zones utilisées du support physique, que les zones qui ne sont plus utilisées (mais qui l'ont été dans le passé, et qui peuvent contenir des résidus de données effacées), les zones qui n'ont jamais été utilisées et même les zones qui ne peuvent être utilisées (ex. : zones dont l'accès est impossible pour l'utilisateur sans moyens ou logiciels spécifiques, et qui peuvent par exemple contenir des données-constructeur ou des données techniques indispensables au bon fonctionnement du système⁷⁵). La réalisation de telles copies nécessite l'utilisation d'outils spécifiques dédiés (matériels, logiciels ou mixtes), appelés « imageurs » ou « cloneurs », qui sont capables non seulement de lire et copier l'intégralité des données et des zones, mais également de comparer les données lues et les données copiées (principe d'intégrité et de fiabilité de la copie)⁷⁶.

Cependant, la réalisation de la copie elle-même ne doit pas modifier la preuve. Lorsque les données contenues dans le support ne sont pas modifiables (ex. : les données contenues dans un CD-ROM ne sont *a priori* pas modifiables sur un lecteur-graveur classique, celles contenues dans un DVD-R non finalisé ne le sont qu'en exécutant un logiciel de gravage), la seule précaution à prendre est de ne pas endommager physiquement le support, ou de ne pas le « polluer » (au sens des autres spécialités criminalistiques : ADN, empreintes digitales, etc.).

Dans le cas contraire, la copie doit être réalisée au moyen d'un système de « blocage en écriture » (*write-blocker*), qui peut être de nature matérielle, logicielle ou mixte⁷⁷, et qui peut être « natif » (prévu d'origine sur le support par le fabricant⁷⁸) ou externe et activé temporairement. Outils indispensables de l'expert, les « bloqueurs », au même titre que les « imageurs » ou « cloneurs », représentent un véritable marché économique.

Les circonstances où la modification de la preuve est inévitable demeurent toutefois assez nombreuses. C'est ainsi le cas lorsque l'original est endommagé ou en panne (ex. : disque dur retrouvé dans l'eau ou dans la boue, disque dur brûlé ou en panne, disquette pliée, cédérom rayé, téléphone écrasé, clé USB cassée, etc.) : une réparation « physique » est envisageable pour rétablir l'accès aux données (ne serait-ce que temporairement, le temps d'une lecture-copie), mais une telle réparation a pour conséquence de modifier l'état de la preuve ! Les procédés sont aussi variés que les supports et les types de dommages ou de pannes ; ils peuvent consister en le remplacement de pièces mécaniques, en la modification de composants⁷⁹ logiciels vitaux (modules du *firmware*), en un « gommage » des défauts (ex. : polissage de la surface d'un support optique de type CD/DVD), etc. Un accès direct et physique aux données est également parfois

⁷⁴ Articles 56 et 97 du code de procédure pénale : « Il est procédé à la saisie des données informatiques (...) en plaçant sous main de justice soit le support physique de ces données, soit une copie (...). ».

⁷⁵ Exemples : secteurs d'un disque dur protégés en accès par les mécanismes de HPA (*Host-Protected Area*) ou de DCO (*Device Configuration Overlay*), secteurs contenant le *Master Boot Record* (ou *l'Extensible Firmware Interface*), secteurs contenant la table d'allocation des fichiers, etc. On peut même copier les secteurs en adressage négatif contenant une partie du *firmware* du disque dur.

⁷⁶ Cette comparaison est le plus souvent effectuée au moyen du procédé mathématique de « *hashsum* » (condensat cryptographique), qui permet d'identifier de façon unique une séquence de bits. Les types de « *hash(sum)* » les plus fréquemment utilisés sont MD5 et SHA1.

⁷⁷ Le blocage matériel et le blocage logiciel ont chacun leurs partisans et leurs opposants. La controverse agite périodiquement le petit monde de la criminalistique numérique, sans qu'aucun camp n'ait jamais définitivement pris le dessus. A titre d'exemple, voir l'article de Mark Menz et Steve Bress (détenteurs d'un brevet sur le blocage matériel en écriture) [27]. Il convient de noter que la plupart des bloqueurs matériels en écriture reposent en réalité sur une partie logicielle (leur *firmware*), ce qui rend une bonne partie de la controverse vaine.

⁷⁸ Exemples :

- « clapet » ou « loquet » de protection en écriture sur les disquettes, les bandes magnétiques, certaines cartes-mémoire et certaines clés USB. En fonction de la position du clapet (ouvert ou fermé), il est possible ou non de modifier les données contenues dans le support.

- protection logicielle en écriture des cartouches Iomega ZIP par « clic droit » sur l'icône de la cartouche.

⁷⁹ Les plateaux magnétiques d'un disque dur peuvent ainsi être démontés et lus avec des têtes de lecture externes distinctes de celles du disque dur (outils de type *spin-stand* ou microscope MFM). Le composant-mémoire Flash interne d'une clé USB cassée ou d'un téléphone portable endommagé peut être dessoudé avec une station de type BGA (à air chaud, à infrarouge ou à laser) et lu sur un lecteur-programmateur de composants électroniques. Pour davantage de détails, voir notamment [29 ; 30].

possible, à condition de démonter le support voire de dessouder des composants. Toutes ces opérations peuvent avoir un impact aussi bien sur le support physique que sur les données qu'il contient.

C'est également le cas de certains périphériques dont l'accès physique est protégé par un mot de passe (ex. : fonction « *Security Mode* » de certains disques durs implémentant la norme ATA⁸⁰, commande « *CMD42* » de certaines cartes-mémoire implémentant les normes MMC ou SD⁸¹). L'une des manières de contourner ou de désactiver le mot de passe peut être de l'effacer ou de le remplacer par un autre mot de passe connu de l'expert.

De même, certains supports de stockage de données (notamment les plus anciens, mais pas exclusivement) ne laissent accès à leur contenu que par l'intermédiaire de protocoles matériels ou logiciels spécifiques non compatibles avec les bloqueurs en écriture existants (ex. : port série, port parallèle, appareils-photos numériques ou terminaux mobiles nécessitant une synchronisation par TWAIN⁸², iTunes, ActiveSync, OBEX, etc.). L'expert travaille alors « sans filet » et doit documenter ses actes, à moins qu'il ne préfère démonter le support et accéder physiquement aux données, par exemple en dessoudant le composant-mémoire qui contient les données... ce qui constitue là aussi une modification de la preuve !

Si les outils et techniques permettant de respecter les principes édictés *supra* existent et sont largement connus pour les supports de stockage de données non volatiles liés à l'informatique (disques durs, disquettes, CD, DVD, cartes-mémoire, bandes magnétiques, clés USB, etc.), malgré les limites et contre-exemples cités, il n'en va absolument pas de même pour la plupart des terminaux mobiles (téléphones portables, GPS, lecteurs MP3, etc.).

Les techniques les plus couramment utilisées pour l'analyse de tels terminaux demeurent encore l'analyse manuelle après démarrage du système d'exploitation embarqué, ou l'utilisation d'outils (logiciels, matériels ou mixtes) de synchronisation qui permettent, sans précautions particulières et après démarrage du système d'exploitation embarqué, de télécharger directement sur l'ordinateur de « l'expert » les fichiers-utilisateurs (actifs et accessibles pour l'utilisateur) stockés dans le terminal. Ces deux techniques sont aujourd'hui couramment appliquées sans se soucier des modifications de la preuve, pourtant nombreuses, quoique peu visibles et pas nécessairement impactantes dans une analyse superficielle de première intention. Aucune de ces deux techniques ne permet non plus d'accéder aux données effacées et aux « données-constructeur » (fichiers du système d'exploitation embarqué, fichiers *logs*, etc.). Fort heureusement, sous la pression de quelques laboratoires de police technique et scientifique plus avancés et plus exigeants (essentiellement dans le cadre de l'ENFSI), menant une politique active de recherche et développement et en coopération avec des entreprises privées spécialisées, on assiste depuis quelques années à l'essor de nouvelles techniques, à la diffusion de publications et de nouveaux magazines spécialisés⁸³, à l'émergence d'un marché d'outils spécialisés tendant à se rapprocher des exigences élémentaires mises en œuvre depuis longtemps en informatique, etc. En bref, on assiste à la naissance d'une véritable spécialité de « criminalistique des terminaux mobiles » (« *mobile phone forensics / mobile forensics* »)[31].

De même, l'analyse criminalistique des « systèmes vivants » (*live forensics*, déjà cité *supra*) s'est considérablement développée ces dernières années⁸⁴, sans pour autant pouvoir se départir de son handicap substantiel de modification de la preuve : sur un système en cours de fonctionnement, le seul espoir actuel est de minimiser l'impact de l'analyse, les modifications demeurant inévitables avec les techniques mises en œuvre à ce jour.

⁸⁰ Pour un accès complet à la norme ATA (*Advanced Technology Attachment*), voir www.t13.org.

⁸¹ Pour un accès complet à la norme MMC (MultiMediaCard), voir www.jedec.org ou le très complet « *SAMSUNG MultiMediaCard Product Datasheet* ». Pour un accès complet à la norme SD (Secure Digital), voir www.sdcard.org.

⁸² Pour un accès complet au protocole TWAIN, voir www.twain.org

⁸³ La revue *Small Scale Digital Device Forensics Journal* et le congrès annuel *Mobile Forensics World* sont ainsi d'existence récente (2009 - 2011)

⁸⁴ Dans le cadre de sa *Global Security Initiative* (GSI) pour lutter contre les risques sécuritaires du 21^{ème} siècle, Interpol a ainsi conclu en 2009 un partenariat avec la société Microsoft pour faciliter l'analyse des données volatiles par les forces de police des états signataires. De même, l'analyse des systèmes vivants (« *live data forensics* ») fait partie des sujets de réflexion actuels du groupe de travail européen d'Interpol sur la cybercriminalité (*European Working Party on Information Technology Crime*). Voir notamment www.interpol.int/Public/Technology-Crime/WorkingParties/default.asp

4.2. Exploitation et interprétation des données

Une fois réalisée, « l'image » du support est cartographiée avec d'autres outils spécifiques⁸⁵, qui permettent de distinguer les différentes partitions ou sessions (quand il y en a) et, au sein de celles-ci, les zones utilisées par le système (MBR/EFI, table d'allocation des fichiers, fichiers du système d'exploitation, données ATIP (*Absolute Time In Pregroove*) et TOC (*Table Of Content*) sur un support optique, etc.), les zones contenant les données de l'utilisateur et les zones non utilisées. Le système de fichiers, c'est-à-dire la façon dont les fichiers sont « rangés », est identifié lorsqu'il existe⁸⁶.

L'analyse du système de fichiers permet de récupérer les fichiers et répertoires « actifs » (ceux encore valides et utilisés par le système d'exploitation ou l'utilisateur), qu'ils soient visibles ou masqués⁸⁷, mais également une partie des fichiers et répertoires effacés ou de leurs résidus. En effet, l'effacement d'un fichier ne consiste généralement pas en l'effacement des données du fichier, mais seulement en un « gommage » des références du fichier dans la liste des fichiers (table d'allocation des fichiers) : comme dans un livre où seul le sommaire aurait été effacé sans que les pages n'aient été « blanchies », les fichiers effacés peuvent donc être récupérés sur de nombreux supports de stockage de données numériques.

Les différents fichiers, actifs comme effacés, sont alors listés et peuvent être classés par l'expert selon divers critères (par taille, par nom, par date, par type, par emplacement, etc.). La visualisation de leur contenu nécessite des utilitaires adaptés (une vidéo ne pouvant, par exemple, pas être lue avec un logiciel de type « traitement de texte » !).

Le rôle de l'expert consiste alors, très schématiquement :

- à identifier le système d'exploitation, les différents utilisateurs référencés (*logins*, « profils », « comptes », etc.), les différents programmes installés ou utilisés, les différents périphériques installés ou connectés, etc. ;
- à déterminer le type de données stockées et l'usage habituel du support ou de la machine (ex. : s'agit-il d'un serveur hébergeant des sites web sur Internet ? S'agit-il d'un ordinateur à usage professionnel purement administratif ou d'un ordinateur à usage personnel contenant de nombreux fichiers à caractère privé ? Depuis quand le support est-il utilisé ? Est-il utilisé tous les jours, seulement les *week-ends*, uniquement la nuit ou exclusivement pendant les jours et heures ouvrables ? S'agit-il d'un support remisé et non utilisé depuis plus de 6 mois ? etc.).

Si la machine était connectée à Internet, l'expert doit localiser, extraire, exploiter et interpréter les traces d'activité du/des utilisateur(s) sur Internet :

- courriers électroniques et messagerie instantanée (liste des comptes et adresses configurées, liste et contenu des courriels ou *chats* envoyés/reçus/brouillons, carnets d'adresses, etc. ;
- traces de navigation sur le *web* (liste, date et contenu des sites *web* visités, mots-clés utilisés sur des moteurs de recherches, etc. ;
- traces d'utilisation de logiciels de partage de fichiers⁸⁸ (liste des fichiers partagés, liste des fichiers téléchargés, etc. ;
- à vérifier la cohérence de ses observations et des résultats obtenus (ex. : la taille cumulée des différentes partitions du disque dur n'excède-t-elle pas la capacité totale du disque ? Le système de fichiers détecté est-il compatible avec le système d'exploitation identifié ? Est-il normal de retrouver la trace d'envois

⁸⁵ Logiciels d'analyse criminalistique de systèmes de fichiers, tels que Encase (société Guidance Software), FTK (société AccessData), X-Ways Forensics (société X-Ways AG), ILook (société Perlustro), ProDiscover Forensics (société Technology Pathways), FINALForensics (société FINALDATA), Autopsy / Sleuth Kit (logiciel libre), MediaMergePC (société eMag Solutions), IsoBuster Pro (société Smart Projects), XACT (société MSAB), UFED (société CelleBrite), etc.

⁸⁶ Il existe des dizaines de systèmes de fichiers différents, qui sont généralement liés au système d'exploitation. On peut notamment citer : FAT12, FAT16, FAT32, NTFS, HFS, HFS+, Ext2, Ext3, Ext4, ReiserFS, ISO9660, UDF, etc. Certains disques durs de vidéosurveillance et certaines bandes magnétiques n'ont pas, à proprement parler, de systèmes de fichiers (les fichiers sont alors stockés « les uns à la suite des autres »).

⁸⁷ Des fichiers peuvent être bien actifs (non effacés) mais invisibles pour l'utilisateur.

⁸⁸ P2P (*peer-to-peer*), FTP (*File Transfer Protocol*), *newsgroups*, etc.

de nombreuses photos par MMS alors que le téléphone ne dispose pas de la fonction appareil-photo ? Comment expliquer que des traces d'activité sur Internet soient retrouvées alors que la machine ne disposait d'aucun accès à Internet ? Etc.

Par ailleurs, comme mentionné au paragraphe 2.2, une partie importante du travail de l'expert, à la frontière entre l'expertise et le travail d'enquête, consiste à trier les très nombreux fichiers-utilisateurs (courriels, photos, vidéos, fichiers musicaux, textes, tableaux, présentations, bases de données, etc.) et à identifier ceux qui sont pertinents pour la manifestation de la vérité. Avec la croissance continue de la taille des supports (la capacité de stockage des disques durs a été multipliée par plus de 5.000 en moins de 30 ans !), il est depuis longtemps illusoire de penser que l'expert puisse prendre connaissance exhaustivement du contenu intégral de chacun des fichiers, qui se comptent parfois par millions. Se posent dès lors plusieurs problèmes :

- Si l'expert ne réalise pas lui-même le tri des fichiers-utilisateurs, il doit extraire ces fichiers et les rendre disponibles et exploitables facilement par des enquêteurs ou des magistrats, qui ne disposent pas nécessairement des connaissances et outils spécialisés de l'expert. Les fichiers extraits doivent-ils être laissés dans leur arborescence d'origine ou classés et, dans ce cas, selon quels critères de classement ? Les fichiers extraits doivent-ils être au préalable convertis dans un format « universel » qui puisse les rendre lisibles avec tout logiciel grand public gratuit, au risque de perdre certaines fonctionnalités du logiciel de lecture d'origine (éventuellement payant et sous licence...) ? L'extraction de ces fichiers doit-elle s'accompagner de la fourniture d'outils de tri et de « fouille » professionnels (cf. *infra*), avec licences logicielles et formations à la clé, ou le « client final » doit-il se débrouiller avec ses propres moyens ?
- Selon quels critères et quelles méthodes l'expert peut-il procéder par échantillonnage ? Par opposition à la toxicologie, où les objets saisis présentent *a priori* une grande homogénéité (plusieurs kilos de poudre blanche uniforme, des milliers de cachets de taille, poids, forme, couleur et marquage identiques, etc.), ce qui permet d'appliquer les « lois de l'échantillonnage », les fichiers numériques sont en effet par nature très hétérogènes, et même parfaitement distincts et distinguables les uns des autres (aux quelques doublons près). L'expert procède alors par échantillonnage selon son expérience, son intuition, ses habitudes, mais rarement dans un cadre formalisé et issu d'une démarche scientifiquement éprouvée (ce qui ne signifie pas nécessairement que sa méthode d'échantillonnage soit mauvaise pour autant).
- Selon quelles méthodes l'expert doit-il « fouiller » dans les données-utilisateurs ? Sachant que le nom d'un fichier et son emplacement sont totalement arbitraires et choisis librement par leur créateur-utilisateur, de simples recherches sur ces critères peuvent conduire l'expert à de sérieuses déconvenues, un suspect pouvant aisément attribuer un nom trompeur à un fichier, sans lien avec son contenu ! De même, des recherches par mots-clés dans le contenu des fichiers ne présentent d'intérêt que pour les fichiers contenant du texte écrit (ex. : les photos, les vidéos, la musique, les paroles ou conversations enregistrées n'en contiennent pas). Malgré toute la puissance des outils modernes de recherches par mots-clés, certaines difficultés peinent toujours à être résolues (mots contenant de nombreuses fautes d'orthographe⁸⁹, mots issus de langages de type « franglais » ou « verlan » ou « parler jeune⁹⁰ », mots écrits en langage phonétique ou en « langage SMS⁹¹ », etc.)... sachant que l'usage de périphrases ou de mots codés⁹² rend vaine pour l'éternité toute recherche par mot-clés⁹³ ! Quant à la « fouille » et au tri

⁸⁹ Les outils de recherche par similarité phonétique existent, mais ils ne permettent pas à coup sûr de retrouver un mot très mal orthographié.

⁹⁰ Des thésaurus existent sans doute, mais le propre de ces langages est leur évolution permanente en fonction des locuteurs, des régions, des périodes, etc. L'expression « je la kiffe grave », par exemple, est ainsi d'apparition très récente.

⁹¹ Bien qu'il existe des « traducteurs automatiques français - SMS » (disponibles gratuitement sur Internet), « l'écriture SMS » demeure très dépendante de son rédacteur et présente donc une forte variabilité.

⁹² Comme le firent les résistants français pendant la Seconde Guerre Mondiale, lorsqu'ils s'échangeaient des messages au contenu étrange lors d'émissions de radio publiques. Une telle technique demeure, aujourd'hui encore, très utilisée par les délinquants, notamment dans le domaine du trafic de stupéfiants.

⁹³ ... même si certains logiciels d'analyse sémantique sont aujourd'hui capables de mesurer la fréquence anormalement élevée (ou faible) de certains mots ou de certaines lettres, et d'identifier le rôle de « pivot » ou de « nœud de communication » (et donc de chef ou d'intermédiaire...) de certains interlocuteurs.

de fichiers visuels (photos, vidéos), malgré les énormes progrès techniques réalisés ces dernières années⁹⁴, l'œil humain et la décision au cas par cas d'un homme restent encore les plus fiables, en dépit d'une productivité la plupart du temps réhébilitaire quand des milliers de fichiers doivent être visualisés un par un de bout en bout⁹⁵.

Si de nombreux logiciels automatiques d'aide au tri et à la « fouille » existent, aucun ne peut prétendre à la perfection et tous peuvent s'évaluer avec un taux de « faux positifs » (taux de fichiers détectés par le logiciel comme correspondant aux critères de recherche alors qu'ils ne les remplissent pas) et un taux de « faux négatifs » (taux de fichiers rejetés par le logiciel comme ne correspondant pas aux critères de recherche alors qu'ils les remplissent). Or même des taux inférieurs à 1%, voire à 0,1% (ce qui est déjà exceptionnel !), laissent prendre à l'expert le risque de « passer à côté » d'un fichier, alors que le jugement de certains dossiers criminels lourds (homicides, viols sur mineurs, etc.) peut parfois basculer sur l'existence d'un seul courriel incriminant le mis en cause sans ambiguïté, d'une seule photo mettant en scène le suspect ou d'une seule trace de connexion à un site *web* compromettant. Dans un tel contexte, la seule « arme absolue » est l'ouverture manuelle, un à un, de chacun des milliers (voire millions) de fichiers, avec prise de connaissance systématique et exhaustive du contenu de chacun d'entre eux : une telle technique apparaît aujourd'hui médiévale et peu réaliste, même si elle demeure, partiellement ou totalement, utilisée pour le traitement de certaines expertises.

Le travail de l'expert consiste, enfin, à discuter et interpréter les résultats qu'il a obtenus, à les mettre en perspective, voire à les mettre en doute lui-même, tout cela en lien avec les enquêteurs ou les magistrats. Parmi les points critiques figurent notamment :

- la cohérence entre ce que l'expert a mis en lumière et ce que l'enquête avait permis d'établir (ex. : Les utilisateurs référencés correspondent-ils aux membres du foyer chez qui la machine a été saisie ? L'ordinateur à usage manifestement purement privé a-t-il bien été trouvé et saisi dans le bureau des secrétaires ? Est-il normal de trouver des logiciels de conception assistée par ordinateur et des plans d'architecte dans l'ordinateur d'un expert-comptable ? Pourquoi trouve-t-on des traces d'activité sur Internet après la date de saisie et de mise sous scellé ?) ;
- l'interprétation, la fiabilité et la cohérence des horodates ; en effet, la mise en cause, et parfois même le jugement, d'un suspect peut reposer sur une chronologie de faits, y compris de faits numériques (ex.: envoi de courriels de menaces ou de harcèlement selon une fréquence et à des dates bien déterminées, évolution dans le temps des recherches effectuées sur Internet par l'utilisateur avec « durcissement » progressif des mots-clés employés, date de rédaction d'une lettre de demande de liquidation d'héritage à un notaire dans le cas d'un homicide intrafamilial, date de prise de vue d'une photo numérique dont le contenu peut remettre en cause un alibi, etc.).

Or la manipulation des horodates est chose assez aisée dans le monde numérique, y compris pour un utilisateur non averti : il « suffit » souvent de modifier temporairement la date et l'heure de son ordinateur ou de son téléphone (ce qui peut laisser des traces, qu'il convient toutefois de savoir localiser et interpréter correctement). De plus, par leur caractère transnational, les communications électroniques (courriels, *chats*, téléchargement de fichiers, appels téléphoniques, SMS, etc.) peuvent s'opérer à travers plusieurs fuseaux horaires : si l'expert n'y prend pas garde, il peut ainsi conclure qu'un courriel a été reçu avant même d'avoir été envoyé ! En outre, de nombreux utilisateurs n'accordent pas d'importance à la mise à jour, précise ou grossière, de l'heure et de la date de leur machine (ordinateur, téléphone portable, appareil-photo numérique, lecteur MP3, etc.) : un expert peut-il, dès lors, affirmer avec certitude que telle photo a été prise à telle

⁹⁴ Il existe désormais de nombreux logiciels de tris d'images et de vidéos, permettant par exemple :

- de détecter *a priori* certains contenus spécifiques (ex.: pornographie, visages, scènes de jour ou de nuit, scènes d'intérieur ou d'extérieur, etc.).
- de comparer des images et vidéos inconnues à une base d'images et vidéos connues, afin de trouver celles qui sont parfaitement identiques ou celles qui « se ressemblent »
- de détecter un mouvement dans une prise de vue fixe d'une caméra de vidéosurveillance
- de visualiser rapidement et sans perte d'informations une vidéo faite de plusieurs plans-séquences

⁹⁵ En effet, une séquence vidéo B, au contenu totalement différent de la vidéo A, peut être insérée par montage au beau milieu de la vidéo A. Seul le visionnage de bout en bout de la vidéo, ou des outils logiciels sophistiqués, permet de détecter ces montages. De même, aucun logiciel ne pourra sans doute jamais faire la différence entre une image pornographique licite mettant en scène des majeurs et une image pornographique illicite mettant en scène des mineurs (la définition même de la pédopornographie différant d'un pays à l'autre...).

date ? Par ailleurs, l'expertise d'un système numérique peut se dérouler longtemps après la commission des faits, après plusieurs mois de poursuite d'utilisation de la machine par son propriétaire : des changements « heure d'hiver / heure d'été » ont pu s'opérer, l'utilisateur a pu se rendre outre-mer ou à l'étranger avec sa machine et y créer des fichiers ou y envoyer des courriels sous un autre fuseau horaire (ou en ayant conservé son fuseau horaire d'origine !), etc. Enfin certains fichiers comportent un double système d'horodatage, dont les règles de fonctionnement ne sont pas forcément identiques⁹⁶ : un seul et même fichier peut donc comporter l'indication selon laquelle il a été créé à deux horodates différentes !

Toutes ces considérations complexifient considérablement l'interprétation des horodates par l'expert et rendent cette tâche l'une des plus ardues et des plus périlleuses qui soit dans le domaine du traitement de la preuve numérique, d'autant plus que de nombreux outils criminalistiques utilisés par l'expert gèrent eux-mêmes assez mal les horodates (et en particulier les fuseaux horaires et l'heure d'hiver/heure d'été).

- **L'imputabilité de la présence de fichiers ou de traces d'activité sur la machine** : rien ne sert en effet d'affirmer qu'un site *web* illicite a été visité, qu'un courriel menaçant a été envoyé ou qu'un fichier compromettant a été créé, si on ne peut dire qui est à l'origine de ces actes. De nombreuses techniques permettent de déterminer l'utilisateur référencé générateur des traces trouvées (emplacement des données dans un compte-utilisateur particulier, adresse e-mail, pseudonyme utilisé dans des *chats*, numéro de téléphone émetteur, adresse IP liée au titulaire de l'abonnement Internet, numéro de carte bancaire utilisé pour un achat en ligne, etc.). Malheureusement de nombreux identifiants numériques peuvent être nommés ou créés sans aucun lien avec l'identité réelle de l'utilisateur (ex. : Jean Dupont peut se créer une adresse e-mail *thomas.durand@email.com*, un *login/compte* Windows nommé « Moi » et un profil Facebook intitulé « Jeannot »). Même en supposant l'utilisation d'identifiants numériques liés à l'identité réelle, le véritable auteur ne peut que rarement être identifié avec une certitude absolue par l'expert, puisque n'importe qui peut se retrouver « derrière le clavier ». Ainsi l'abonnement Internet et l'ordinateur d'un foyer peuvent être utilisés par chacun des membres de la famille, sans que des *logins* (pseudonymes) distincts n'aient été nécessairement créés. De même, un accès Internet sans fil en WiFi, volontairement « ouvert » et partagé ou involontairement mal sécurisé, peut être utilisé par quiconque dans le voisinage sous couvert de l'abonné ayant configuré la borne WiFi. Par ailleurs, un employé peut utiliser l'ordinateur de son collègue de bureau à l'insu de ce dernier alors que celui-ci est parti boire un café. En outre, en l'absence de relevé d'identité des clients par le gérant et de comptabilité horaire stricte, il est illusoire de déterminer l'utilisateur d'un ordinateur dans un cybercafé. On peut également parfaitement imaginer qu'une personne malveillante dans l'entourage de l'utilisateur connaisse, devine ou « pirate » le mot de passe de ce dernier et se fasse alors passer pour lui. Enfin les cas d'actes effectués sous la menace ou la contrainte ne peuvent être exclus. Le rôle de l'expert consiste donc à rassembler les éléments d'imputabilité, à les confronter et à les discuter.
- **Le caractère intentionnel ou involontaire, délibéré ou fortuit, occasionnel ou habituel, à l'origine de la présence de fichiers ou de traces d'activité** : une infraction est basée sur un élément légal (une loi ou un règlement interdit-il l'acte ?), un élément matériel (existe-t-il une preuve de la commission de l'acte ?) et un élément moral (y a-t-il eu intention de commettre l'acte ?). Le rôle de l'expert consiste non seulement à trouver l'élément matériel (ex. : la présence d'un fichier illicite) mais également à déterminer si cette présence est issue d'un comportement conscient et réfléchi de l'utilisateur. Or de nombreux scénarios peuvent conduire à dégager l'utilisateur de toute responsabilité : quel internaute n'a ainsi jamais été confronté à l'apparition soudaine et non désirée dans son navigateur de fenêtres publicitaires au contenu non maîtrisé (« *pop-ups* »), et parfois illicite ? Il n'est pas rare, non plus, de cliquer sur un lien donné en résultat par un moteur de recherche et de découvrir avec stupéfaction un contenu de page *web* totalement différent de ce à quoi on pouvait légitimement s'attendre. Quant aux logiciels de partage de fichiers sur Internet (*peer-to-peer*), nombreux sont ceux qui mettent automatiquement en diffusion les fichiers dont le téléchargement vient de s'achever. Par ailleurs, une stratégie

⁹⁶ Outre le triplet d'horodates MAC (voir paragraphe 4.1 « Extraction et copie des données » et la note n°101), certains fichiers comportent des horodates sous forme de métadonnées (données descriptives créées à l'intérieur du fichier par le logiciel d'édition). C'est notamment le cas de nombreux fichiers bureautiques (traitements de textes, tableurs, etc.) et de photos numériques.

de défense souvent utilisée dans les pays anglo-saxons par les avocats des prévenus est la « *Trojan horse defense* » ou la « *Virus made me do it defense* », consistant à expliquer que l'ordinateur du mis en cause a été piraté et que toutes les traces incriminantes trouvées sur la machine sont dues à un « *hacker* » contrôlant à distance cette dernière. De même, il peut arriver que des factures téléphoniques astronomiques s'expliquent par la présence sur l'ordinateur de l'abonné d'un logiciel de numérotation automatique composant sans cesse des numéros surtaxés ou étrangers à l'insu de l'utilisateur (« *dialers* »). Enfin il convient de noter l'existence dans le Code Pénal français de l'infraction de consultation habituelle » sur Internet d'images à caractère pédopornographique (article 227-23) : le rôle de l'expert dans la détermination du caractère « habituel » est là absolument déterminant.

5. Interactions entre preuve numérique et preuve classique

Il existe de nombreuses interactions entre la preuve numérique et les autres spécialités de la criminalistique, voire plus généralement de l'expertise judiciaire.

Les plus évidentes concernent sans aucun doute le traitement du signal (audio, vidéo, image) : dans la quasi-totalité des applications, les images et les vidéos sont désormais enregistrées sous forme de fichiers sur des supports de stockage numérique. Avant de pouvoir entreprendre un quelconque traitement de ces sons, images et vidéos (débruitage, défloutage, agrandissements, modification des contrastes, etc.), il convient donc de les extraire selon les règles de l'art de la criminalistique numérique. Par ailleurs, un fichier audio, image ou vidéo corrompu ne pourra être exploité qu'après « réparation informatique » de sa structure binaire. Inversement, l'expert en preuve numérique bénéficie aujourd'hui, à travers les nouveaux outils de tri, de « fouille », de comparaison et de visualisation rapide d'images et de vidéos, des avancées de la recherche en traitement du signal (voir paragraphe 4.2 et notes 92 et 93), tout comme il bénéficie également des apports de la linguistique pour les recherches textuelles (voir paragraphe 4.2. et notes 88 à 91).

Par ailleurs, il convient de conserver à l'esprit que les images et vidéos à caractère pédo-pornographique représentent des scènes de crime (viols sur mineurs). Dès lors, les forces de police de certains pays (dont la France⁹⁷) ont décidé de tout mettre en œuvre pour identifier les auteurs et les victimes, parfois masqués ou non reconnaissables, sur toutes les images et vidéos retrouvées stockées sur des supports numériques. Elles peuvent ainsi faire appel à des spécialistes de tous domaines pour analyser les moindres détails d'un cliché, tels que des architectes (prises de vues extérieures laissant voir un bâtiment), des cuisinistes (photos pédopornographiques prises dans des cuisines équipées), des électriciens (prises électriques spécifiques à tel pays ou tel fournisseur), des plombiers (identification des lavabos, douches, éviers, toilettes, etc.), des spécialistes de la flore (localisation géographique des photos prises en extérieur à partir des arbres, arbustes et fleurs), des médecins-légistes (pour déterminer l'âge d'un enfant, son morphotype, etc.), etc.

Dans les affaires de mœurs (homicides, viols, pédopornographie, etc.), la coopération entre l'expert en preuve numérique et l'expert psychiatre gagnerait sans aucun doute à être largement développée. Le contenu des images et vidéos pouvant être trouvées sur un support de stockage numérique, la façon qu'a l'utilisateur de les trier, de les ranger et de les classer dans des répertoires, les mots-clés utilisés pour effectuer des recherches sur Internet, le contenu des sites *web* visités, le contenu de certains courriels ou de certaines conversations de *chat*, tous ces éléments (et vraisemblablement bien d'autres encore) peuvent manifestement largement éclairer le travail de l'expert psychiatre. Le simple contenu d'un disque dur peut ainsi donner une indication très nette de la nature de la personnalité de son utilisateur (pervers, névrosé, psychotique).

Dans le domaine de l'automobile, l'électronique embarquée est désormais omniprésente, qu'il s'agisse de l'antidémarrage électronique, de la fermeture centralisée des portes (avec transmission radio de clés cryptographiques), des compteurs kilométriques numériques, des calculateurs, des chronotachygraphes électroniques⁹⁸, etc. Si des « valises de diagnostic numérique » sont désormais disponibles sur le marché, aussi

⁹⁷ Centre National d'Analyse des Images Pédophiles (CNAIP), placé auprès du STJD/DLCC (voir paragraphe 3.1)

⁹⁸ Essentiellement sur les poids-lourds, quoique des sociétés américaines de location de voitures en utiliseraient aussi pour détecter les « locataires indisciplinés » susceptibles de générer des infractions... et donc un risque majoré d'accidents ou d'amendes au détriment du loueur !

bien pour les garagistes que pour les experts, l'expert automobile doit aujourd'hui développer des compétences dans le domaine de la preuve numérique, ou à défaut s'appuyer sur un expert du domaine.

Dans le domaine de l'expertise des accidents, le temps des « bandes de papier » ou de métal est depuis longtemps révolu. Les « boîtes noires » ou enregistreurs divers (qu'ils aient ou non pour objet l'analyse *a posteriori* des accidents) sont aujourd'hui numériques et largement répandus. On en trouve aussi bien dans les avions⁹⁹ et dans l'aéronautique légère (*dataloggers* des petits avions de tourisme et ULM, alti-variomètres des parapentes, etc.), que dans les navires de mer¹⁰⁰, dans le monde des chemins de fer (trains, métros, tramways)¹⁰¹ et des transports guidés (téléphériques, funiculaires, remontées mécaniques, etc.), dans le domaine de la plongée subaquatique¹⁰² ou dans les voitures et poids-lourds¹⁰³. En cas d'enquête judiciaire, un spécialiste du domaine peut donc avoir besoin de s'adjoindre les services d'un expert en preuve numérique. De même, un accident ou une erreur médicale peut conduire à l'expertise d'un échographe, d'un scanner, d'un appareil d'imagerie par résonance magnétique, etc., autant d'appareils qui sont aujourd'hui commandés par ordinateur (quand ils ne sont pas eux-mêmes de gros ordinateurs !). En outre, de nombreuses chaînes de production industrielle sont aujourd'hui contrôlées par des automates programmables, tout comme le sont la plupart des réseaux de distribution d'énergie (réseaux SCADA/DCS¹⁰⁴) ; en cas d'accident ou d'attentat, l'expert industriel devra donc s'associer à un expert en preuve numérique.

Certains montages électroniques artisanaux, tels que des engins explosifs improvisés (IED) ou des *skimmers*, peuvent être « englués » dans des polymères ou noyés dans des gangues de résine. Pour confirmer la présence d'un circuit électronique et préciser ses dimensions et ses contours, l'utilisation de l'appareil à rayons X d'un médecin-légiste peut s'avérer précieuse. Pour dégager et ainsi expertiser le circuit, il peut être ensuite nécessaire d'avoir recours à un expert en physique des matériaux ou en chimie, afin d'identifier les produits utilisés et en déduire les solvants les plus adaptés pour le « nettoyage ». Une fois isolé, le circuit électronique peut être altéré par le traitement subi, et les références des composants électroniques peuvent avoir été effacées (ce qui est gênant pour identifier correctement ces derniers et ainsi pouvoir lire leur contenu ou déduire leur utilité dans le circuit). L'expert en électronique fait alors appel aux moyens optiques de l'expert en faux documents (lumière rasante, infrarouge, ultraviolet, etc.) pour révéler les inscriptions effacées ; ces mêmes moyens optiques peuvent être utilisés pour lire des étiquettes altérées par le temps (ou par un séjour dans l'eau !) sur des appareils informatiques ou électroniques. Inversement, l'expert en faux documents peut avoir besoin des compétences de l'expert en électronique pour analyser des documents d'identité à puce (ex. : passeport à puce sans contact), qui ont vocation à se développer largement en France sous l'égide de l'Agence Nationale des Titres Sécurisés (ANTS)¹⁰⁵, ou de l'expert en informatique pour retrouver la trace de montages par ordinateur de faux documents imprimés.

Enfin il convient de rappeler qu'un élément matériel de preuve numérique est avant tout un objet physique, qui peut être le support d'autres éléments de preuve plus « classiques » (empreintes digitales, ADN, etc.). Avant de se jeter tête baissée sur l'analyse d'un scellé, l'expert en preuve numérique doit donc prendre toutes les précautions nécessaires à la préservation de tels traces et indices, quitte à laisser la priorité aux experts de ces autres domaines, qui eux-mêmes prendront toutes les précautions pour ne pas altérer la preuve numérique. La révélation d'empreintes digitales par métallisation peut ainsi, en effet, créer des courts-circuits sur un circuit électronique, et l'usage de cyanoacrylate peut rendre illisible un CD/DVD ; inversement, la

⁹⁹ CVR (*cockpit voice recorder*) obligatoire selon les normes de l'Organisation Internationale de l'Aviation Civile, FDR (*flight data recorder*) obligatoire, QAR (*quick access recorder*) non obligatoire, CVVR (*cockpit video view recorder*) non obligatoire.

¹⁰⁰ VDR (*voyage data recorder*) ou S-VDR (*simplified VDR*), obligatoires selon les normes de l'Organisation Maritime Internationale sur les bateaux de transport de passagers et tous les bateaux de tonnage brut supérieur à 3.000 tonneaux.

¹⁰¹ TDR (*train event recorder*) ou OTMR (*on-train monitoring recorder*), ou encore EPE (enregistreur de paramètres d'exploitation). Ils font notamment l'objet du standard industriel IEEE 1482, de la [directive européenne n° 96/48/CE](#) et, en France, de la [loi n°2002-3 du 03/01/2002](#) et de l'[arrêté du 01/07/2004](#) relatif aux exigences applicables aux matériels roulants circulant sur le réseau ferré national.

¹⁰² Ordinateurs de plongée submersibles (*dive computer* ou *scuba computer*) permettant de mesurer et d'enregistrer la température de l'eau, la profondeur de plongée, l'autonomie en oxygène, la durée des paliers de décompression, etc.

¹⁰³ EDR (*event data recorder*) ou *Crash Recorder* ou *Accident Data Recorder* ou, en français, enregistreur de données de route.

¹⁰⁴ *Supervisory Control and Data Acquisition / Distributed Control System*.

¹⁰⁵ Voir le [décret n°2007-240 du 22/02/2007](#) portant création de l'ANTS au sein du Ministère de l'Intérieur, et le [décret n°2008-1285 du 09/12/2008](#) le modifiant.

réparation d'un CD/DVD endommagé peut nécessiter l'usage d'une armoire de métallisation sous vide d'un expert en empreintes digitales pour recréer la couche réfléchissante du support optique.

L'élément matériel de preuve numérique, en tant qu'objet, peut aussi être pollué ou contaminé par des substances nocives ou présentant un risque pour la santé de l'expert (ex. : téléphone portable découvert dans le rectum d'un détenu, clé USB cachée dans un sachet de cocaïne, appareil-photo numérique maculé de sang, dispositif électronique de mise à feu d'IED couvert de produit explosif ou d'agents bactériologiques ou chimiques, ordinateur saisi dans une centrale nucléaire après une fuite radioactive, etc.). Il convient alors de mener une réflexion pluridisciplinaire permettant d'aboutir à un « nettoyage » ou à une décontamination de l'objet, tout en n'altérant pas la preuve numérique qu'il contient.

6. Les acteurs de la preuve numérique

Parmi les nombreux acteurs de la preuve numérique, on peut distinguer, en France :

6.1. les acteurs institutionnels

Il s'agit des personnels :

- **des laboratoires de police technique et scientifique** : Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN) pour la gendarmerie, Institut National de Police Scientifique (INPS) et Service d'Investigation des Traces Technologiques (SITT¹⁰⁶) pour la police, Cellule de Recueil de la Preuve Informatique (CRPI¹⁰⁷) pour les douanes,
- **des services d'enquête spécialisés de la police et de la gendarmerie nationales** : enquêteurs spécialisés N-TECH de la gendarmerie nationale dans les sections de recherche (SR) et brigades départementales de recherches et d'investigations judiciaires (BDRIJ), enquêteurs spécialisés ICC de la police nationale dans les services régionaux de police judiciaire (SRPJ), STRJD/DLCC (*voir paragraphe 3.4*) pour la recherche d'infractions sur tous les protocoles de l'Internet au sein de la gendarmerie, Office Central de Lutte contre la Criminalité liée aux Technologies de l'Information et de la Communication (OCLCTIC), Office Central de Répression des Violences aux Personnes (OCRVP), brigades spécialisées de la Préfecture de Police de Paris¹⁰⁸, division cybercrime de la Direction Centrale du Renseignement Intérieur,
- **des services spécialisés du Ministère de la Défense** : laboratoires numériques des services de renseignement (direction technique de la DGSE, DRM, DPSD)¹⁰⁹, Centre d'Electronique pour l'Armement (CELAR) de la Délégation Générale pour l'Armement (DGA), lutte informatique défensive (LID) formalisée dans le cadre de l'OPVAR (organisation permanente de veille-alerte-réponse)¹¹⁰,
- **des divers services spécialisés des autres administrations**, à vocation répressive ou purement technique : outre ceux déjà mentionnés dans les paragraphes 3.1 à 3.4, on peut également citer le Centre Technique d'Assistance (CTA)¹¹¹ placé sous l'autorité du directeur général de la police nationale, le service « Cyberdouane » de la Direction Nationale du Renseignement et des Enquêtes Douanières (DNRED), le Centre de surveillance du commerce électronique (CSCE) de la DGCCRF à Morlaix, l'Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information (ANSSI) – et en particulier le CERTA (Centre d'Expertise gouvernementale de Réponse et de Traitement des Attaques informatiques) - au

¹⁰⁶ Situé à Ecully, le SITT est placé au sein de la Direction Centrale de la Police Judiciaire, Sous-direction de la police technique et scientifique.

¹⁰⁷ Situé à Paris, la CRPI est placée au sein de la Direction Nationale du Renseignement et des Enquêtes Douanières.

¹⁰⁸ Brigade d'Enquête aux Fraudes aux Technologies de l'Information (BEFTI), Brigade de Protection des Mineurs (BPM), Brigade des Fraudes aux Moyens de Paiement (BFMP).

¹⁰⁹ Direction Générale du Renseignement Extérieur, Direction du Renseignement Militaire, Direction de la Protection et de la Sécurité de la Défense.

¹¹⁰ Avec, en particulier, le Centre d'Analyse de Lutte Informatique Défensive (CALID), placé au sein de la Direction interarmées des réseaux d'infrastructure et des systèmes d'information de la défense (DIRISI) de l'état-major des armées (EMA).

¹¹¹ A vocation interministérielle, créé par le décret n°2002-1073 du 07/08/2002 et couvert par le secret de la défense nationale, le CTA peut être saisi à titre judiciaire dans les conditions prévues par les [articles 230-1 à 230-5 du Code de Procédure Pénale](#), ou à titre administratif sur simple requête entre administrations. Sa mission est de mettre au clair les données chiffrées (cryptanalyse).

sein du Secrétariat Général de la Défense et de la Sécurité Nationale (SGDSN), la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL), les services spécialisés de la Direction Nationale des Enquêtes Fiscales (DNEF), les bureaux enquêtes-accidents du Ministère de l'Équipement et des Transports¹¹², leur homologue le Bureau Enquêtes et Accidents Défense Air (BEAD-air) placé sous tutelle du Ministère de la Défense pour tous les aéronefs d'État, etc.

6.2. Les acteurs non institutionnels

- **les acteurs privés exerçant une mission de service public** par le biais de l'expertise judiciaire, qu'il s'agisse de particuliers (généralement ingénieurs, enseignants ou spécialistes de la sécurité des systèmes d'information, retraités ou en activité – et exerçant alors leur mission d'expertise judiciaire sur leur temps libre) ou d'entreprises (sociétés de récupération de données informatiques, laboratoires de biologie ou de criminalistique traditionnels ayant ouvert une « section » numérique, experts judiciaires privés s'étant associés au sein d'une entreprise)
- **les acteurs privés exerçant pour leur compte propre** : équipes spécialisées en sécurité des systèmes d'information et services internes de lutte contre la fraude au sein des grandes entreprises, sociétés spécialisées en audits et conseils de sécurité informatique, cabinets d'intelligence économique, etc.

Ces différents acteurs se différencient notamment par leur respect ou non des grands principes de la criminalistique reconnus ou édictés par des organismes internationaux¹¹³, par l'étendue du spectre de leurs connaissances techniques (informatique, électronique, réseaux, traitement du signal, etc.), par leurs équipements (certains équipements spécialisés pouvant coûter plusieurs dizaines voire centaines de milliers d'euros) et leurs conditions ambiantes de travail (laboratoire anti-statique et faradisé¹¹⁴ avec paillasse et alimentation électrique secourue, ou simple bureau non aménagé), par leur capacité de projection et d'action en conditions dégradées « sur le terrain » (certains experts ne quittant jamais leur laboratoire, d'autres allant assister les enquêteurs ou les magistrats au domicile des suspects ou au sein des entreprises pour saisir les éléments de preuve numérique), par leur travail en équipe ou « en solo », par leur approche pluridisciplinaire et polyscientifique ou purement monolithique (cf. paragraphe 5), par leur souci de progression constante et leur capacité de remise en cause (innovation, recherche et développement, publications scientifiques, participation à des sociétés savantes¹¹⁵ ou à des séminaires, accueil de stagiaires d'université ou d'écoles d'ingénieurs, partenariats avec d'autres laboratoires ou experts, etc.), par une démarche s'inscrivant ou non dans une optique d'assurance-qualité (procédures lourdes d'accréditations ISO 17020 et/ou ISO 17025 par un organisme certifié), par leurs connaissances juridiques (Code Pénal, Code de Procédure Pénale, jurisprudence), par leur faculté d'adaptation aux besoins et aux impératifs des enquêteurs et des magistrats¹¹⁶, et tout simplement par la finalité qu'ils poursuivent [32].

¹¹² Le Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) est chargé des enquêtes techniques sur les accidents et incidents dans l'aviation civile, le Bureau d'enquêtes sur les événements de mer (BEAmer) est son homologue maritime, le Bureau d'enquêtes sur les accidents de transports terrestres (BEA-TT) étant quant à lui, son homologue pour les transports routiers, transports ferroviaires et passages à niveau, transports fluviaux, transports guidés et remontées mécaniques. Il convient toutefois de rappeler que ces « bureaux » ont une stricte vocation technique et administrative et n'ont aucune vocation judiciaire.

¹¹³ ENFSI, Interpol, Europol/HTCC (*High Tech Crime Centre*), G8 (avec, en son sein, le groupe de Rome sur le terrorisme et le groupe de Lyon sur la criminalité organisée), IOCE (*International Organization on Computer Evidence*), NIST/CFTT (*National Institute of Standards and Technology / Computer Forensic Tool Testing project*, organisme sous tutelle du ministère du commerce américain conduisant notamment des études comparatives sur la fiabilité des outils criminalistiques et proposant des critères d'évaluation de ces outils), etc.

¹¹⁴ Faradisé : isolé par une cage de Faraday (fréquences radio, émissions électromagnétiques).

¹¹⁵ Exemple : Association Francophone des Spécialistes en Investigations Numériques (AFSIN).

¹¹⁶ Ainsi certaines sociétés spécialisées en récupération de données informatiques se contentent de lire, extraire et copier « en vrac » les données d'un support de stockage, sans les trier ni les classer. Par ailleurs, des supports de stockage classifiés « confidentiel défense » ou « secret défense » (ex. : un disque dur saisi dans une entreprise sensible travaillant pour le Ministère de la Défense, un ordinateur saisi dans un service de renseignement, etc.) ne peuvent théoriquement être analysés que par des experts détenant une habilitation correspondante.

7. Conclusion

Ce chapitre a fait la démonstration que la preuve numérique matérielle ou immatérielle a toute sa légitimité et autant de force probante que les autres formes de preuve en droit français.

Les infractions peuvent concerner l'usage des technologies numériques à titre simplement accessoire ou en tant que moyen logistique, à titre principal mais non exclusif, ou les technologies numériques en tant que telles d'où leur immense variété.

La grande complexité de cette diversité d'emplois illicites implique la mise en œuvre de moyens complexes et sans cesse en évolution mais surtout des experts maîtrisant toutes ces technologies et parfaitement instruits des principes de la criminalistique reconnus au plan international mais également maîtrisant l'abondante littérature législative, réglementaire et administrative.

8. Bibliographie

1) Norme ISO/IEC 7811 Identification cards — Recording technique is a set of nine (7811-1 to 7811-9) standards describing the recording technique on identification cards.

Part 1 : Embossing

http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=61935

Part 2 : Magnetic stripe -- Low coercivity

http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=61936

Part 3 : Location of embossed characters on ID-1 cards

http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=14721

Part 4 : Location of read-only magnetic tracks -- Tracks 1 and 2

http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=14723

Part 5 : Location of read-write magnetic track -- Track 3

http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=14725

Part 6 : Magnetic stripe -- High coercivity

http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50370

Part 7 : Magnetic stripe -- High coercivity, high density

http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=61938

Part 8 : Magnetic stripe -- Coercivity of 51,7 kA/m (650 Oe)

http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=61939

Part 9 : Tactile identifier mark

http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=46200

2) Norme iso/iec 7810 :2003. Identification cards -- Physical characteristics

http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=31432

3) Norme ISO/IEC 7812 Identification cards — Identification of issuers

Part 1 : Numbering system

http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=39698

Part 2 : Part 2: Application and registration procédures

http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=39699

4) Norme ISO/IEC 7813. Information technology -- Identification cards -- Financial transaction cards

http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=43317

5) Norme ISO/ICE 7816 Cartes d'identification - Cartes à circuit intégré

Part 1 : 2011. Cartes à contacts -- Caractéristiques physiques

http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=54089

Part 2 : 2007. Cartes à contacts -- Dimensions et emplacements des contacts

- http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=45989
Part 3 : 2006. Cartes à contacts -- Interface électrique et protocoles de transmission
- http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=38770
Part 4 : 2014 Organisation, sécurité et commandes pour les échanges
- http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=54550
Part 5 : 2004 Enregistrement des fournisseurs d'application
- http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=34259
Part 6 : 2004 Éléments de données intersectoriels pour les échanges
- http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=38780
Part 7 : 1999 Commandes intersectorielles pour langage d'interrogation de carte structurée (SCQL)
- http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=28869
Part 8 : 2004 Commandes pour des opérations de sécurité
- http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=37989
Part 9 : 2004 Commandes pour la gestion des cartes
- http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=37990
Part 10 : 1999 Signaux électroniques et réponse à la mise à zéro des cartes synchrones
- http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=30558
Part 11 2004 Verification personnelle par méthodes biométriques
- http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=31419
- 6) Norme ISO/IEC 14443 *Identification cards -- Contactless integrated circuit cards -- Proximity cards*
- Part 1 : 2008 Physical characteristics
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=39693
- Part 2 : 2010 Radio frequency power and signal interface and amendement 2012
http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50941
http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=57417
- Part 3 : 2011 Initialization and anticollision
http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50942
- Part 4 : 2008 Transmission protocol
http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50648
- 7) Norme ISO/IEC 18092 Information technology -- Telecommunications and information exchange between systems -- Near Field Communication -- Interface and Protocol (NFCIP-1) révision 2013
http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=56692
- 8- Norme ISO/IEC 15693 Identification cards - Contactless integrated circuit cards -- Vicinity cards –
- Part 1 : 2010 Physical characteristics
http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=39694
- Part 2 : 2006 Air interface and initialization
http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=39695
- Part 3 : 2009 Anticollision and transmission protocol
http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=43467
- 9) Articles 226-1 à 226-9 du Code Pénal
http://www.indis-alliance.com/site_6/im/im_bdd/im_accueil/6_indis/video_web/LOI-Articles-226.pdf
- 10) Article 227-22 et suivants du Code Pénal Modifié par LOI n°2013-711 du 5 août 2013 - art. 5
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000027811128&cidTexte=LEGITEXT000006070719>
- 11) Loi du 21 mai 1836 portant prohibition des loteries (monopole de la Loterie Nationale) abrogée au 1^{er} mai 2012 (loi de sécurité intérieure Art L322-1 à 5 ; 324-6 à 10 ; 344-3 et 345-3
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000515396&categorieLien=cid>
- 12) Loi du 02 juin 1891 (monopole du PMU - Pari Mutuel Urbain)

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000512373&dateTexte=20150120> (version consolidée au 20 janvier 2015)

13) Loi n°83-628 du 12 juillet 1983 relative aux jeux de hasard (casinos). Abrogée au 1^{er} mai 2012 (loi de sécurité intérieure Art 321-5 ; 322-6 ; 324-1 à 4 ; 344-4 et 345-4

<http://legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000504703>

14) Articles 323-1 et suivants du Code Pénal : infractions de « piratage informatique ».

<https://www.securiteinfo.com/legal/synthesepeines.shtml>

15) Articles 226-16 à 226-24, du code pénal (loi n°78-17 du 06 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés (« loi CNIL » - Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés) modifiés par la loi du 6 août 2004 et Article 226-17-1 créé par l'article 39 de l'ordonnance n°2011-1012 du 24 août 2011 et Articles R. 625-10 à R. 625-13 du Code pénal insérés par le décret du 20 octobre 2005.

<http://www.cnil.fr/documentation/textes-fondateurs/sanctions-penales/>

16) Article L163-4 et suivants du Code Monétaire et Financier

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072026&idArticle=LE-GIARTI000006646105&dateTexte=&categorieLien=cid>

17) Article 79-1 et suivants de la loi n°86-1067 du 30 septembre 1986 relative à la liberté de communication, dite « loi Léotard » (parfois aussi surnommée « loi Canal + ») modifié par ordonnance du 19 sept 2000

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexteArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006420699&cidTexte=JORFTEXT000000512205>

18) Article 222-16 du Code Pénal modifié par la loi n°2014-873 du 4 août 2014

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006417656&cidTexte=LEGITEXT000006070719>

19) Article 222-33-3 du Code Pénal : Enregistrement d'images d'atteintes volontaires à l'intégrité de la personne, hors presse et preuves en justice (modifié par la loi n°2014-873 du 4 août 2014).

<http://legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006070719&idArticle=LEGIARTI000006417712>

20) Article L34-5 du Code des Postes et Communications Electroniques ; lorsque ces sollicitations utilisent le courrier électronique, on parle de « spam » (Modifié par LOI n°2014-344 du 17 mars 2014 - art. 115).

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=F992699B1529CC80CCED8DB20996DEA9.tpdjo11v_2?idArticle=LEGIARTI000028748611&cidTexte=LEGITEXT000006070987&categorieLien=id&dateTexte=20150121

21) Article 29 et suivants de la loi n°2004-575 du 21 juin 2004 pour la confiance dans l'économie numérique

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000801164>

22) Articles L33-1 et suivants du Code des Postes et Communications Electroniques. Modifié par la loi n°2014-344 du 17 mars 2014 art 146.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006070987&idArticle=LE-GIARTI000006465743&dateTexte=&categorieLien=cid>

23) Article 6 de la loi n°2004-575 du 21 juin 2004 pour la confiance dans l'économie numérique Modifié par LOI n° 2013-1168 du 18 décembre 2013 - art. 20 (V) Modifié par LOI n°2014-873 du 4 août 2014 - art. 57

http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexteArticle.do;jsessionid=F992699B1529CC80CCED8DB20996DEA9.tpdjo11v_2?idArticle=LEGIARTI000028345121&cidTexte=LEGITEXT000005789847&dateTexte=20150121

24) Articles L8112-1, L8113-1, L8113-3 et L8113-7 du Code du Travail. Titre III- Inspection et contrôle

<http://www.senat.fr/rap/l13-359/l13-35922.html>

25) Gazet A, Campana G. Les hébergeurs bullet-proof. Conférence donnée à l'occasion du séminaire SOGETI-ESEC le 03/02/2009 à Paris.

<http://esec-lab.sogeti.com/dotclear/public/publications/09-esec-bulletproof.pdf>

26) Le BulletProof hosting : les pirates passent à l'Offshore, lettre d'information L'Actu Sécu n°18 (janvier 2008), cabinet XMCO Partners

<http://www.xmco.fr/actu-secu/XMCO-ActuSecu-Janvier2008.pdf>

27) DECRET Décret n° 2006-1405 du 17 novembre 2006 modifiant le décret n° 64-754 du 25 juillet 1964 relatif à l'organisation du ministère de la justice et instituant une délégation aux interceptions judiciaires

http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=B652DF98BA2B618951848E09C778A6BE.tpdjo14v_3?cidTexte=JORFTEXT000000641157&categorieLien=id

28) Menz M, Bress S. The Fallacy of Software Write Protection in Computer Forensics. Mykey Technology Inc 2004. Version 2.4.

<http://mykeytech.com/softwarewriteblocking2-4.pdf>

29) Mayergoyz ID, Tse C. Spin-stand Microscopy of Hard Disk Data, par Issak D., éditions Elsevier. 2006. Print Book ISBN : 9780080444659. 218 p.

<http://store.elsevier.com/Spin-stand-Microscopy-of-Hard-Disk-Data/Isaak-Mayergoyz/isbn-9780080444659/>

30) Breeuwsma M, de Jongh M, Klaver C, van der Knijff R et Roeloffs M. Forensic Data Recovery from Flash Memory, in Small Scale Digital Device Forensics Journal. 2007 ; 1 (1) : 1-17.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=1A463AB735146FBC30B3217D3DB43C51?doi=10.1.1.135.5697&rep=rep1&type=pdf>

31) Duvinage N. GSM Analysis and PDA's) in Wiley Encyclopedia of Forensic Science. John Wiley & Sons 2009. on line 15 09 2009)

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470061589.fsa448/full>

32) Autopsie informatique : les 4 approches à connaître MISC, n°35 janvier-février 2008, « Autopsie et le network Forensic » (éditions Diamond).

Chapitre 16. Le traitement du signal en criminalistique

P. Perrot

1. Introduction

A l'heure du multimédia, le traitement du signal qui recouvre des notions très théoriques trouve dans le champ des sciences forensiques, des applications très concrètes. En effet derrière ce vocable, nous retrouvons la biométrie, la modélisation 3D, le traitement de la parole, de l'image, le sondage radar mais aussi des domaines plus émergents comme l'analyse des réseaux sociaux ou des mondes virtuels. L'objet de ce chapitre est donc de présenter l'ensemble de ces applications à travers leur principe de mise en œuvre et une illustration basée sur des cas concrets rencontrés.

Ainsi, après une première partie orientée sur l'analyse et le traitement du signal audio nous nous intéresserons au domaine de l'image et de la vidéo en y incluant les aspects 3D, puis les nouvelles sources ouvertes de criminalité potentielle sur la planète Internet.

2. L'analyse et le traitement du signal audio

Nombreux sont les institutions, commerces ou réseaux de transport qui utilisent le signal audio comme un moyen de télésurveillance. Dans ce cadre, l'audio est un élément qui peut s'avérer déterminant lors d'une infraction. En effet, outre les informations d'ambiance qui apportent des éléments de caractérisation de l'infraction, le signal audio véhicule les conversations des malfaiteurs, mais aussi les informations permettant dans une certaine mesure, de les identifier [1].

Applications criminalistiques

Dans le cadre judiciaire, les saisines couvrent trois domaines différents : l'orientation d'enquête, l'examen scientifique et l'expertise judiciaire à proprement parler. Le choix entre ces applications s'effectue en fonction du déroulement temporelle de l'enquête ou de l'origine de la saisine. Celle-ci peut être ordonnée par un enquêteur ou un magistrat issu de la magistrature debout (Procureur de la République) mais aussi un magistrat issu de la magistrature assise (le juge d'instruction). Les articles de loi qui régissent le champ de l'expertise comme de l'examen scientifique sont inscrits au sein du Code de procédure pénale. Les applications criminalistiques liées au signal audio sont à la fois multiples et diversifiées : diversifiées par l'origine même de l'enregistrement qui peut être issu du système de télésurveillance d'un établissement bancaire, d'un commerçant, d'un lieu public, ou d'un établissement pénitencier... mais aussi par l'origine même du signal audio, enregistreur de télésurveillance, boîte noire d'aéronef, dictaphone, site internet, chat...

Dès lors, l'expert judiciaire se trouve confronté à un domaine où le champ de ses connaissances doit être étendu et continuellement renouvelé au risque de ne pouvoir satisfaire à l'exigence de l'examen, voire d'ignorer les limites de ses résultats. Cette notion de limite est essentielle au domaine criminalistique. L'expert s'attache à définir en permanence les limites de son analyse en fonction de multiples paramètres, comme la qualité du signal par exemple, et à évaluer objectivement la fiabilité de sa réponse. La mesure de l'incertitude permet non seulement d'apporter une réponse objective mais aussi de souligner la différence entre le résultat d'une expertise judiciaire et la simple analyse à des fins commerciales ou de recherche dont les effets en termes de responsabilité sont souvent moindres.

Au nombre des applications criminalistiques liées au signal audio, nous pouvons citer les activités suivantes :

- amélioration du signal
- analyse des enregistreurs de vols (boîtes noires)
- authentification de l'enregistrement [2]
- reconnaissance du locuteur [3][4][5]

Nous nous proposons de détailler ces différentes techniques dont la fiabilité est à apprécier en fonction de la qualité initiale du signal.

2.1. Les techniques d'amélioration du signal audio

Par amélioration du signal audio, nous entendons les techniques permettant une amélioration de l'audibilité et de l'intelligibilité des propos échangés. L'objectif de ces techniques est de pouvoir transcrire des conversations et d'apporter à l'enquêteur des éléments pertinents comme un nom, un prénom, un surnom, des mots clefs ou des lieux géographiques... Cette appréciation de la pertinence n'est pas du ressort de l'expert mais bien de celui de l'enquêteur ou du magistrat qui pourra à partir de la transcription de l'expert extraire des points spécifiques utiles à ses investigations. Le principe élémentaire est d'atténuer ce qui nuit à la bonne compréhension des propos et de rehausser les propos intéressants afin de les rendre compréhensibles.

Nous montrons sur la figure 1, la représentation temporelle d'un signal audio avant et après les opérations de « débruitage » ; (*pour écouter Quick time doit être actif*)¹.

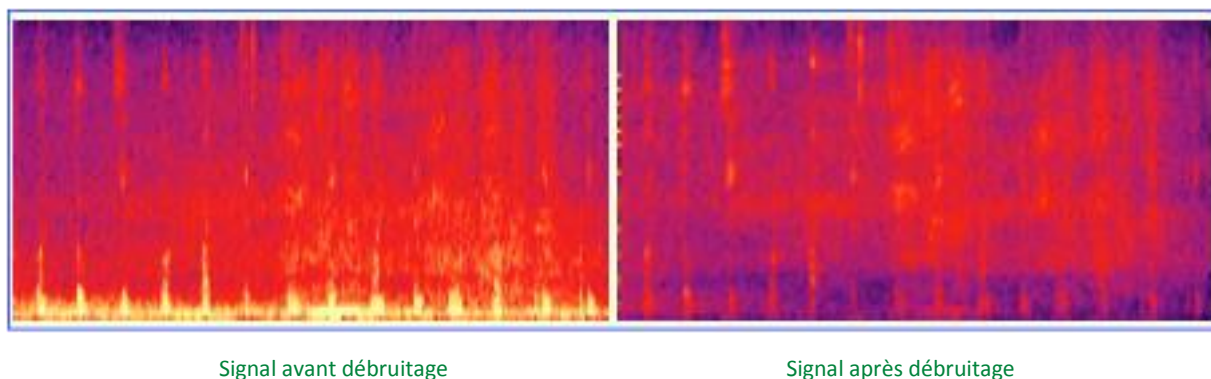


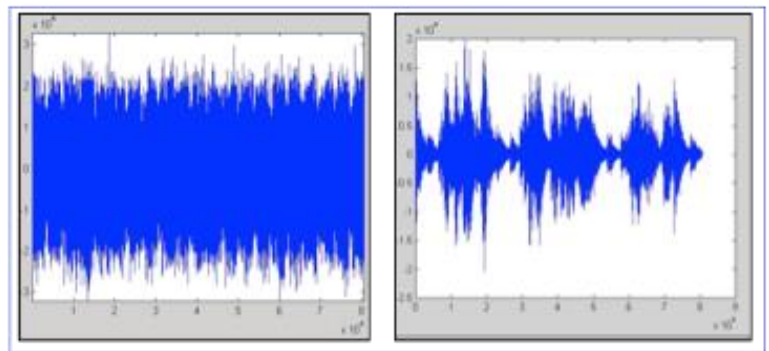
Figure 1 : Spectrogramme.

Cette représentation est un spectrogramme. Le spectrogramme est un diagramme associant à chaque instant t d'un signal, son spectre de fréquence. L'axe horizontal représente le temps et l'axe vertical, la fréquence. Chaque point à l'intérieur du graphique est doté d'une certaine intensité qui indique l'amplitude (souvent en **décibels**) d'une fréquence particulière à un temps donné.

¹ url des deux images sonores : Signal avant débruitage <http://www.dspalgorithms.com/products/wave/car1.wav> ;
Signal après débruitage http://www.dspalgorithms.com/products/wave/car1_out.wav

Nous montrons sur la Figure 2, la représentation temporelle d'un signal audio avant et après les opérations de « débruitage ».

Ces deux représentations permettent de comprendre les effets du débruitage. En effet, les signaux après débruitage sont moins riches en fréquence ; en quelque sorte moins parasités. Différentes sortes de bruits peuvent altérer les signaux. Nous citerons les phénomènes de distorsion (altération du signal original, à mesure que ce signal traverse les différents éléments d'un système), saturation, bruit de canal (lié au transport du signal audio), bruits additifs (tous les types de bruits imprévisibles). Ces différentes sources de dégradation nuisent significativement à la bonne intelligibilité de conversations présentes sur un enregistrement.



Avant débruitage
Après débruitage
Figure 2 : Représentation temporelle

2.2. L'analyse audio des enregistrements de vols

L'enregistreur de vol d'un aéronef est ce que nous appelons communément une boîte noire (figure 3).

Elle est en général de couleur rouge ou orange afin de faciliter sa découverte après un crash. C'est une unité électronique destinée à enregistrer toutes les informations et les données liées au vol. L'analyse de ces boîtes permet généralement de comprendre, voire de déterminer les causes d'un incident ou d'un accident d'avion. Elles enregistrent la trajectoire, les diverses attitudes et la vitesse sans oublier les différentes conversations à l'intérieur du cockpit. Un enregistreur de vol contient au moins 28 données. Certains appareils enregistrent jusqu'à 1 300 paramètres qui permettent d'aller jusqu'à une **simulation informatique** du vol. Nous distinguons deux types de boîtes noires : les CVR (*Cockpit Voice Recorder*) et les FDR (*Flight Data Recorder*). Alors que ces derniers s'intéressent aux paramètres de vols, les CVR enregistrent les conversations à l'intérieur du cockpit. Ce sont ces CVR qui nous intéressent, leur analyse permet de transcrire en général les différentes conversations échangées, de déterminer les alarmes qui ont pu fonctionner, et d'essayer de comprendre l'origine de l'anomalie ayant entraîné le crash. Ce sont donc des éléments particulièrement importants dans une enquête judiciaire. Ils enregistrent donc les communications radios, les voix à l'intérieur du cockpit et les bruits d'ambiance du poste de pilotage (moteur, alarmes, ...). A titre d'exemple, issu du rapport d'analyse du **crash du concorde**, les enregistrements du CVR de type Fairchild A-100 (CVR du concorde) sont organisés comme suit :



Figure 3 Enregistreur de vol

- radio-communications sur les pistes 1 et 4,
- communications avec l'équipage de cabine sur la piste 1,
- communications avec le mécanicien au sol sur les pistes 1, 2 et 4,
- microphone d'ambiance sur la piste 3.

L'expert judiciaire a donc en charge la transcription des conversations sur l'ensemble des pistes, l'identification des alarmes qui se sont déclenchées et à quel moment, et l'identification (dans la mesure du possible) des personnes à l'intérieur du cockpit en dehors du pilote et du co-pilote. La transcription des communications avec les personnes extérieures à l'avion, comme ceux de la tour de contrôle ou le mécanicien au sol, est également un point qui peut s'avérer déterminant. Outre l'analyse conversationnelle, l'étude des alarmes comme des bruits d'interrupteurs est en général réalisée même s'il est parfois difficile de discriminer spécifiquement un interrupteur. Cependant, la manifestation de la vérité exige de pousser les investigations techniques au plus loin. Dès lors, les experts peuvent mettre au point une campagne de tests effectuée en simu-

lateur ou sur un aéronef identique à celui qui s'est crashé. La campagne de tests permet de disposer d'enregistrements de comparaison. Cette étude comparative est fréquentielle par l'analyse spectrale du signal, mais aussi temporelle par l'analyse des durées de commutation de l'interrupteur, et énergétique par l'analyse de l'intensité du signal. Les limites à cette approche sont la qualité du bruit de fond, la différence entre l'interrupteur de comparaison et celui de question (interrupteur de l'aéronef accidenté), la manipulation de l'opérateur. L'expert se doit donc dans son analyse de toujours fournir à l'enquêteur ou au magistrat la force probante de l'étude réalisée.

Les principaux organismes concernés par l'analyse des enregistreurs de vols sont le Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA), le Bureau Enquête Accident de la Défense (BEAD) et les laboratoires de police scientifique pour les aspects judiciaire uniquement. Le Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) pour la Sécurité de l'Aviation civile est l'organisme chargé pour la France des enquêtes techniques sur les accidents ou incidents dans l'aviation civile et intervient à ce titre aussi à l'étranger. L'enquête technique a pour seul objet de collecter et d'analyser les informations utiles, de déterminer les circonstances et les causes certaines ou possibles de l'accident ou de l'incident et, s'il y a lieu d'établir des recommandations de sécurité afin de prévenir de futurs accidents et incidents.

Le Bureau enquêtes-accidents-défense-air (BEAD-air), service à compétence nationale, est chargé de conduire les enquêtes techniques relatives aux accidents et incidents aériens graves survenus aux aéronefs d'Etat. Sa mission consiste à mener les enquêtes techniques portant sur les accidents ou incidents aériens graves survenus aux aéronefs conçus exclusivement à usage militaire ou exploités en circulation aérienne militaire, ou qui ne sont pas inscrits au registre d'immatriculation de l'aviation civile.

L'objectif de ces deux organismes est d'identifier les causes d'un événement et de formuler, si nécessaire, des recommandations de sécurité. Il ne vise en général pas à la détermination des fautes ou des responsabilités qui est du ressort de la justice.

2.3. L'authentification du signal audio

L'altération d'un signal audio du point de vue du malfaiteur a pour objectif d'effacer des segments de conversation ou des bruits particuliers, de masquer certains passages par ajout de bruit, de transformer certains mots ou certaines phrases, d'ajouter des mots ou phrases par synthèse. En matière de manipulations des enregistrements audio, il existe deux grandes familles d'applications :

- les manipulations réalisées sur un enregistrement analogique,
- les manipulations réalisées sur un enregistrement numérique.

En analogique, il était plus difficile au délinquant de modifier une bande audio sans laisser de traces d'altération. Nous trouvons dans, [2 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9] une méthodologie relativement précise d'analyse des enregistrements. Les auteurs insistent sur la continuité des bruits de fond, sur la cohérence des propos. Par bruit de fond, nous entendons les bruits d'environnement (transmission téléphonique, bruit de restaurant, de rue, de train...) et les bruits en arrière plan (télévision, conversation, musique...). L'expert s'attachera également à la cohérence des propos échangés, c'est-à-dire le thème de la conversation, le nombre de locuteurs, le ton de la conversation... L'ensemble des bruits ou sons particuliers non identifiés, devra également faire l'objet d'une attention spécifique. Nous pouvons citer : les portions de silence, les transitions de mots abruptes, les clics, les augmentations ou baisses de volume inattendues, et tout type de sons apparaissant étranges. Il est également pertinent de s'intéresser aux marques spécifiques de certaines touches de magnétophone comme par exemple le STOP, qui peuvent apporter des éléments très caractéristiques sur le fait que la personne ait effacé une partie de l'enregistrement. L'expert procédera à l'analyse temporelle et spectrale du signal pour mettre en évidence ces caractéristiques. Dans un cas idéal, l'expert dispose de l'enregistreur ayant servi à l'enregistrement, sinon un enregistreur de même marque et même modèle peut être utilisé, mais le niveau de fiabilité décroît. En effet, chaque enregistreur a un cycle de vieillissement qui lui est propre, ce qui

génère des petits défauts caractéristiques appelés artefacts. Un examen visuel de la bande peut également s'avérer utile de manière à détecter les coupures de morceaux.

En numérique [10], il est beaucoup plus aisé de falsifier un enregistrement car il existe aujourd'hui de nombreux logiciels capables de telles manipulations. C. Grigoras [11 ; 12] publie le détail de l'analyse en vue de détecter les manipulations sur les enregistrements numériques. Le principe est l'étude du réseau électrique et en particulier les fluctuations du 50Hz autour de sa valeur moyenne. En effet, dans le cadre d'un travail d'authentification, l'expert dispose d'un fichier de question (celui dont l'expert doit attester de l'intégrité) qu'il devra mettre en comparaison avec un fichier fourni sur réquisition par les Réseaux transport énergie (RTE) correspondant au même segment horaire. Sans entrer dans le détail pour des raisons évidentes de confidentialité, c'est cette analyse comparative qui permettra à l'expert de se prononcer.

2.4. La reconnaissance de locuteur

Dans bien des domaines, l'étendue des activités de la police scientifique révèle sa proximité avec la biométrie [13]. Pour autant ces deux domaines très proches, qui puisent leur origine au sein de la même source, se distinguent par la mise en œuvre et les conditions de l'objectif à satisfaire. Dans le cadre de la police scientifique, l'identification ou non d'un individu se situe dans un cadre totalement ouvert alors que la biométrie dans la plupart de ses applications nécessite un environnement contrôlé. La reconnaissance à partir de technique biométrique constitue un terme générique qui comprend à la fois les notions d'identification et de vérification. L'identification consiste à vérifier l'identité d'un individu au sein d'un ensemble fermé en général, c'est-à-dire une comparaison d'un objet anonyme (visage, voix, empreintes digitales) que nous qualifions de « **question** » en terme criminalistique et N objets (visage, voix, empreintes digitales) de même nature que nous qualifions de « **comparaison** ». La vérification consiste à reconnaître un objet anonyme au sein d'un ensemble ouvert, c'est-à-dire une comparaison de l'objet de question à la voix d'un suspect par exemple.

Messages de revendication, messages malveillants, les possibilités de transmettre des messages sous le couvert de l'anonymat sont aujourd'hui particulièrement fréquentes. Les enregistrements de Ben Laden, les revendications terroristes de toutes origines, les appels à des fins de menaces ou de discrédit, voilà nombre de situations où la détermination de l'identité d'un individu à partir de sa voix peuvent s'avérer capitales. Pourtant la voix est-elle unique, peut-on utiliser la voix comme une empreinte digitale ou génétique ? Les progrès en traitement du signal, la meilleure connaissance des mécanismes de la parole ont permis d'accroître significativement les performances des systèmes automatiques. Il existe encore des voix contraires à l'utilisation de la parole dans des applications autres que commerciales en raison d'un manque de fiabilité. Nombre d'applications se développent aujourd'hui autour de la parole en reconnaissance automatique comme en synthèse. Les techniques de recherche dans l'identification ou la vérification d'un individu sont un sujet à l'ordre du jour. Les circonstances géopolitiques ont placé le terrorisme à l'ordre des préoccupations majeures. Or, la voix s'est avérée comme un outil, voire le seul, d'identification des locuteurs présents sur un enregistrement vidéo et bien sûr audio phonique.

En effet, parmi l'ensemble des modalités biométriques, la voix présente l'intérêt d'être l'une des plus faciles à exploiter, en termes d'acquisition, au sein d'une application biométrique, mais aussi l'une des plus faciles à transformer. Enfin, la forte demande d'expertise judiciaire en reconnaissance de locuteur [5][14] exige un niveau de reconnaissance performant et si possible robuste à l'imposture.

Comme énoncé préalablement, deux grandes applications se distinguent en matière de reconnaissance automatique : l'identification et la vérification regroupées sous le vocable de reconnaissance. L'identification consiste à comparer un enregistrement anonyme (qualifiée de «question») à la voix de N individus. C'est une discrimination un contre N.

Dans le cadre de la vérification nous comparons un enregistrement de question à la voix d'un individu, nous sommes donc dans une discrimination de type un contre un. Cette technique consiste à déterminer si la voix présente sur un enregistrement anonyme est la voix d'un suspect (figure 4).

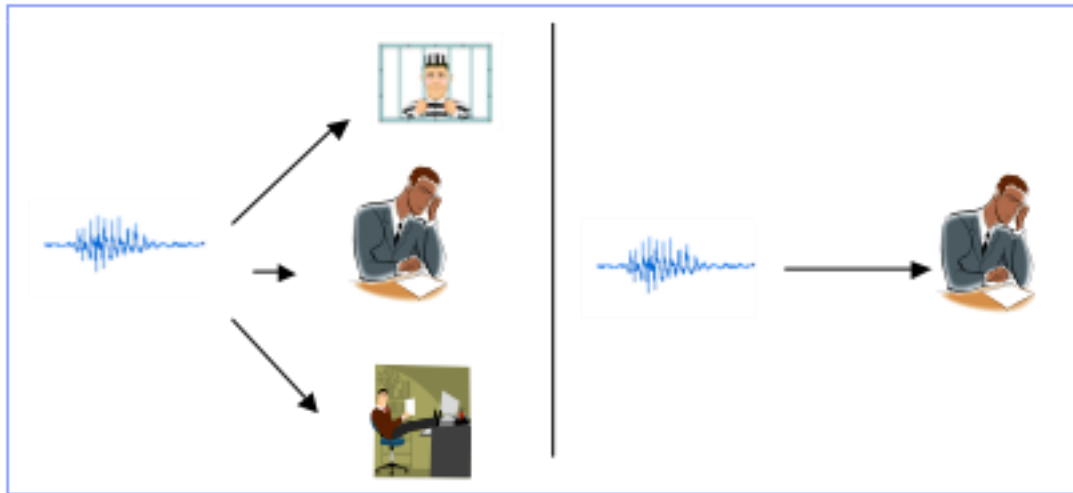


Figure n°4 Processus d'identification/vérification

Le système de reconnaissance pourra être dépendant ou indépendant du texte prononcé. Le principe de la reconnaissance automatique de locuteur repose sur un test d'hypothèse statistique qui consiste à prendre une décision entre deux possibilités. A partir d'un enregistrement de question X, il convient de déterminer si :

H_1 : l'enregistrement X a été prononcé par la personne 1

H_2 : l'enregistrement X a été prononcé par une autre personne.

Dès lors le test d'hypothèse statistique est le suivant :

$$p_0(X) = p(H_1/X) \quad p_1(X) = p(H_2/X)$$

L'approche automatique va consister à modéliser ces tests d'hypothèse et l'évaluation du système permettra de déterminer le seuil au plus juste. La figure 5 représente un synoptique de système d'identification et la figure 6, de vérification².

² Pour en savoir plus [34 ; 35 ; 36 ; 38]

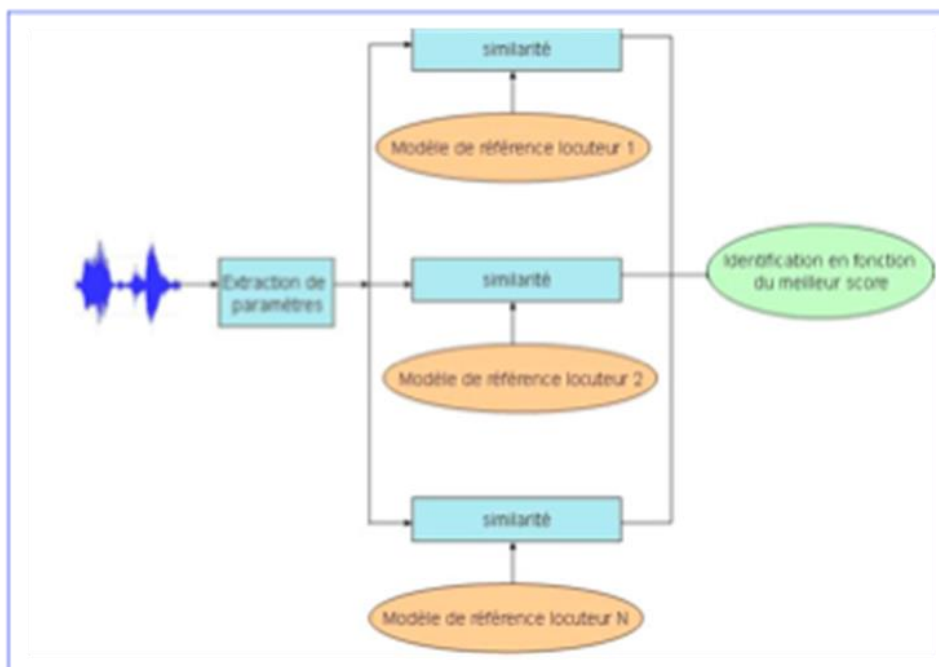


Figure n°5 Identification de locuteur

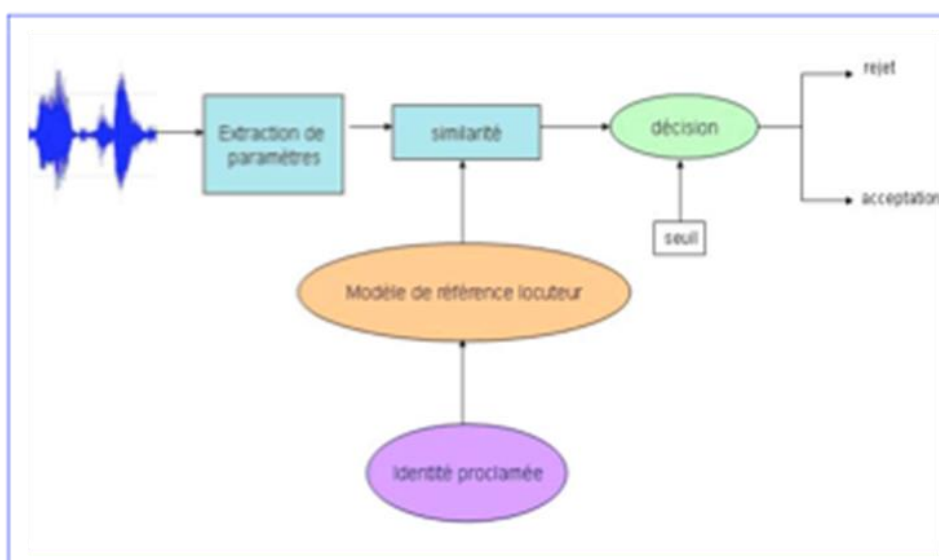


Figure n°6 Vérification de locuteur

Il existe différents paramètres caractéristiques de la voix humaine. Nous pouvons penser aux paramètres les plus évidents comme la fréquence de vibration des cordes vocales ou encore la mélodie de la voix appelée prosodie et qui regroupent outre la fréquence fondamentale, l'énergie, et la durée syllabique ou phonémique. Ces paramètres sont appelés suprasegmentaux. Ils présentent néanmoins l'inconvénient majeur d'être peu robustes et peu discriminants du locuteur. D'autres paramètres sont donc utilisés : ceux caractéristiques du conduit vocal ou encore de l'enveloppe spectrale. Ce sont les coefficients de prédiction linéaire, *Linear Predictive Cepstral Coefficients* (LPCC) et leurs transformations ou encore les *Mel Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC) et leurs transformations (dérivées et/ou accélération).

A partir de cette phase d'extraction de paramètres nous distinguerons les deux grandes étapes des systèmes automatiques : l'apprentissage et le test. L'apprentissage consiste à modéliser les paramètres à la fois du (ou « des » en identification) locuteur proclamé, censé modéliser l'hypothèse H_1 , et du modèle générique de l'ensemble des voix, censé modéliser l'hypothèse H_2 . Nous appellerons ce modèle générique, « le modèle du monde ». La phase de test, quant à elle, consiste à calculer une distance de similarité entre les paramètres extraits de l'enregistrement anonyme et les modèles précédemment cités. Cette distance est une vraisemblance d'appartenance d'un échantillon à un modèle.

En matière d'expertise judiciaire, la voix est un sujet qui fait débat. Pouvons-nous utiliser une telle modalité alors que le niveau de performance des systèmes n'est pas aussi fiable que pour les empreintes digitales ou l'empreinte génétique. Le mythe de l'empreinte vocale [2] a vécu et nous ne pouvons plus considérer la voix comme telle. Pour autant, nous sommes en général capables de reconnaître une voix familière au téléphone. Cela tend donc à prouver que la voix possède des caractéristiques propres au locuteur. En fait, la voix peut être considérée comme une modalité biométrique comportementale c'est-à-dire dépendante du comportement de l'individu, que ce comportement soit volontaire ou non. Ainsi considérée, la voix peut se rapprocher de la façon d'écrire, de la signature, ou du visage c'est-à-dire d'un ensemble de modalités biométriques lié au comportement. Dès lors, nous devons nous poser la question de savoir s'il est possible de prendre en compte la voix comme une caractéristique objective de reconnaissance d'un individu.

Dans le cadre de l'expertise judiciaire, deux approches prédominent : l'approche phonétique et l'approche automatique. Nous nous concentrerons, dans ce chapitre, sur l'aspect automatique de la reconnaissance. Pour autant, nous ne pouvons occulter l'approche phonétique qui apporte également des résultats pertinents. Elle présente des avantages certains en vue de reconnaître des particularités identifiantes de notre façon de parler. Ce sont des caractéristiques idiolectales, sociétales, régionales, liées aux défauts d'élocution, tics verbaux ou autres... Cette méthode présente cependant l'inconvénient d'être très liée à la compétence de l'expert et ne permet pas de définir un score de discrimination d'un individu par rapport à un autre. Il existe des sociétés savantes internationales comme l'*International Association for Forensic Phonetics and Acoustics* (IAFPA) qui permettent un échange entre experts du domaine. La reconnaissance automatique du locuteur quant à elle, présente ce double intérêt d'être à la fois reproductible et évaluable. Comme nous l'avons préalablement décrit, nous pouvons distinguer deux grandes applications en matière de reconnaissance automatique : l'identification et la vérification que nous regroupons sous le vocable de reconnaissance. En général, la vérification est la tâche la plus commune en criminalistique. L'objectif est de comparer un enregistrement anonyme à la voix d'un suspect. Le principe des systèmes automatiques a été décrit ci-dessus. Dans le cadre de l'approche criminalistique, ce qui nous intéresse est d'identifier les limites de la reconnaissance automatique, afin non pas de s'en affranchir car elle apporte indéniablement des éléments utiles à l'enquêteur, mais de maîtriser son usage dans les cas les plus adaptés. Il existe malheureusement des limites objectives à l'emploi de cette modalité. Certaines de ces limites peuvent être compensées, d'autres, en revanche, interdisent pour le moment toute analyse.

Ainsi, il apparaît nécessaire avant toute analyse forensique de prendre en compte différents critères que nous détaillons ci-après.

- **Qualité de l'enregistrement** : la reconnaissance du locuteur s'effectue à partir d'enregistrements de bonne qualité pour ne pas avoir à compenser une dégradation du signal due à un bruit trop important. Cette qualité peut être mesurée à partir du rapport signal sur bruit de l'enregistrement. En outre, il convient d'identifier dans la mesure du possible le canal de transmission de façon à disposer du même canal entre l'apprentissage et le test. Cela n'est malheureusement pas toujours possible.
- **Qualité de la parole** : il convient également de prendre en compte les problématiques liées à l'intra variabilité du locuteur c'est-à-dire que la voix peut varier en fonction d'un état émotionnel ou de santé variable par exemple. Ensuite, cette parole doit être suffisamment riche en diversité et en quantité.
- **La qualité de la base de données** : la base utilisée doit être le plus proche possible des enregistrements des individus suspectés. Cette base doit également être riche en diversité comme en quantité de voix pour être significative.

En matière de sécurité, les perspectives sont différentes car l'analyse consiste non pas à juger un individu à partir des éléments de sa voix mais à orienter les investigations ou à identifier un individu qui se prête généralement à l'identification.

Nous l'aurons compris le signal audio est une source d'information à prendre en compte par l'enquêteur et donc par l'expert. L'étendue des applications n'est cependant pas à négliger et il convient de cibler les réelles compétences d'un expert en regard de l'analyse demandée. Outre l'audio, une autre forme de signal particulièrement intéressante à exploiter est l'image. A la différence du signal audio qui est monodimensionnel,

l'image est bi-dimensionnelle. Dès lors les traitements ne peuvent être les mêmes. Nous allons dans la partie suivante nous intéresser à l'aspect criminalistique du traitement de l'image.

3. L'image et la vidéo au sein de la police scientifique

De diverses origines, l'image est un élément qui est par définition visuel et qui par conséquent possède une valeur probante intrinsèque très forte. Dès lors il convient de s'interroger sur les traitements effectués par l'expert, afin de déterminer si ces traitements peuvent altérer l'intégrité de l'image, mais aussi aux possibilités de manipulation de l'image qui permettent de déformer le message véhiculé par cette image. Depuis les dix dernières années, les technologies numériques connaissent un essor manifeste dans le monde entier. Ces technologies permettent notamment de stocker sur des supports numériques ou informatiques des images ou des vidéos en grande quantité.

3.1. L'origine des saisines

La grande majorité des saisines en police scientifique proviennent des systèmes de vidéosurveillance. En effet ces derniers constituent bien souvent la seule mémoire d'un fait délictuel ou les derniers moments d'une personne avant sa disparition. Nous pouvons bien entendu citer la sortie du couple Al fayed, Diana Spencer prise par les caméras du Ritz (Figure 7) mais aussi plus proche de nous, le **meurtre de Susanna, la jeune Suédoise assassinée** après avoir été vue par des caméras à la sortie de la discothèque parisienne « La Scala » à Paris.

Nous pouvons également citer le cas de cette jeune étudiante française, Ophélie dont les dernières images ont été prises par les caméras de vidéosurveillance de Budapest.



Figure 7 Caméra de vidéosurveillance

Déterminante dans bien des situations, la vidéo-surveillance n'est pourtant pas toujours aisée à exploiter en police scientifique. En effet les objectifs de la vidéosurveillance sont aujourd'hui les suivants :

- surveiller : assurer une vision large d'une zone à couvrir. La surveillance consiste à multiplier et à déporter les yeux de l'opérateur ;
- dissuader : éviter la commission de faits délictueux par la présence d'une surveillance visible ;
- détecter : mettre en évidence tout comportement anormal ;
- identifier : être en mesure de reconnaître un individu, une plaque de véhicule, des armes à feu...

En police scientifique, la volonté des enquêteurs, et donc le travail des experts, est d'identifier les individus présents lors d'une rixe par exemple et non de vérifier la commission de l'infraction que la seule visualisation des images satisfait. Pour être efficace la vidéosurveillance doit être intégrée comme un outil au sein d'une stratégie globale de sécurité. Dès lors les images à disposition des enquêteurs pourront réellement être exploitables. Par intégration au sein d'une stratégie globale de sécurité, il faut entendre mise en place d'une réflexion autour d'un positionnement efficient des caméras, développer un contrôle de l'état du système, former les opérateurs à la sensibilité de leur métier et promouvoir une politique de maintenance efficace. La police scientifique récupère trop souvent des images de mauvaise qualité, de caméras mal positionnées etc.

Outre les images extraites de vidéosurveillance, la police scientifique analyse et traite des images comme des vidéos, issues de la téléphonie mobile, ou tout simplement des photos et films de vacance. La prolifération des téléphones portables et le développement des images vidéo ont engendré un phénomène qui a connu un essor considérable : le « happy slapping ». L'objectif est de montrer un crime ou un délit enregistré au moyen d'un téléphone portable. Cette vidéo est souvent transmise très facilement d'un téléphone à un autre.

Les premiers cas de « happy slapping » ont été signalés en Angleterre en 2004 et se sont à présent répandus à travers le monde entier. Le « happy slapping » peut se révéler plus violent qu'une simple gifle, contrairement à ce que la traduction française du phénomène suggère, et peut inclure des violences physiques sévères. Les assauts sont parfois accompagnés d'autres crimes, tels que le viol voire le meurtre. La vidéo de la violence circule entre camarades via le téléphone portable et termine souvent sur Internet dans un blog afin de ridiculiser la victime impuissante. A la base, cela n'était qu'un jeu malsain : surprendre un inconnu par une gifle et filmer sa réaction. Le jeu a vite dégénéré en agressions gratuites dont le seul but est d'obtenir des vidéos comportementales violentes, et des trophées pour les agresseurs (figure 8).

Les points communs des images comme des vidéos analysées en police scientifique sont les suivants :

- la faible définition ;
- la faible résolution ;
- la compression excessive ;
- la mauvaise luminosité ;
- le flou ;
- le mauvais cadrage.

Ces difficultés nécessitent alors un certain nombre de traitements, afin d'extraire une information pertinente pour l'enquêteur, que nous abordons ci-après.



Figure 8 Exemple de happy slapping

3.2. Les techniques de traitement d'images

Qu'elles soient fixes, mobiles, présentées sur un support papier ou électronique, les images ont une matérialité leur permettant de servir de preuve. Les images à analyser étant bien souvent de mauvaise qualité, les experts doivent s'attacher à les améliorer pour extraire une information pertinente. Par traitement d'images, nous entendons l'ensemble des techniques permettant de modifier une image numérique dans le but de l'améliorer ou d'en extraire des informations. La compréhension du traitement d'images commence par la compréhension de ce qu'est une image. Le mode et les conditions d'acquisition et de numérisation des images traitées conditionnent largement les opérations qu'il faudra réaliser pour extraire de l'information pertinente, utile à l'enquêteur. D'ailleurs, l'expert transmet en général des informations complémentaires à la demande qui sont parfois déterminantes. De nombreux paramètres entrent en compte dans la construction de l'image :

- la **résolution** : elle est définie par un nombre de pixels par unité de longueur (classiquement en pixels par pouce ppp ou *dots per inch* (dpi)) ;
- la **définition** : c'est le nombre de points appelés pixels constituant l'image, c'est-à-dire sa « dimension informatique » le nombre de colonnes de l'image que multiplie son nombre de lignes. Une image possédant 640 pixels en largeur et 480 en hauteur aura une définition de 640 pixels par 480, notée *640x480* ;
- la **compression** : elle peut se définir par le quotient de compression, c'est-à-dire le quotient du nombre de bits dans l'image compressée par le nombre de bits dans l'image originale. Le taux de compression, souvent utilisé, est l'inverse du quotient de compression, il est habituellement exprimé en pourcentage ;
- la **luminosité** : elle désigne la caractéristique de ce qui émet ou réfléchit la lumière. Les corrections de luminosité dans le traitement de l'image sont des traitements perceptifs à l'œil ;
- le **contraste** : c'est l'opposition marquée entre deux régions d'une image, plus précisément entre les régions sombres et les régions claires de cette image. Le contraste est défini en fonction des luminances de deux zones d'image ;

- l'histogramme : c'est un graphique statistique permettant de représenter l'intensité des pixels d'une image, c'est-à-dire le nombre de pixels pour chaque intensité lumineuse. Par convention un histogramme représente le niveau d'intensité en abscisse en allant du plus foncé (à gauche) au plus clair (à droite) ;
- la profondeur des couleurs : c'est le nombre de bits associés à chaque couleur primaire d'un pixel. Cette valeur reflète le nombre de couleurs ou de niveaux de gris d'une image ;
- les réglages optiques utilisés : ils déterminent par exemple la netteté ou le flou d'une l'image ;
- les conditions **éclairage**, qui déterminent une partie de la variabilité des images traitées ;
- le **bruit** de la chaîne de transmission d'image.

L'objectif du traitement d'images est d'agir sur ces différents aspects pour apporter un résultat exploitable. A titre d'exemple, nous présentons ci-après quelques traitements effectués qui consistent à compenser les défauts de l'image. La figure 9 illustre une modification d'histogramme :



Figure 9 Modification d'Histogramme

La figure 10 illustre la mise en application de technique de super résolution qui, par fusion de plusieurs images d'un même objet, tend à accroître la perception visuelle de cet objet. Ce sont des techniques utilisées pour mettre en évidence des plaques d'immatriculation, des visages ou des armes à feu par exemple.

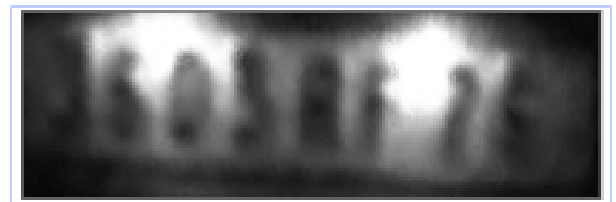


Figure n°10 Identification de plaque d'immatriculation

3.3. La manipulation de l'image

Avec l'évolution des techniques informatiques, la qualité matérielle de l'image peut être remise en cause en raison du transfert de l'analogique vers le numérique. En effet, à l'aide d'un logiciel de traitement d'images un individu peut transformer une image en réalisant un truquage par exemple. Pour autant, à ce jour aucune jurisprudence ne rapporte un cas avéré de remise en cause de la preuve par l'image. L'analyse de la manipulation des images numériques est une préoccupation majeure des sciences criminelles. Les différentes études présentes dans la littérature s'intéressent en général à des manipulations spécifiques et ne concernent pas le spectre de l'imposture dans sa globalité. L'objet de cette partie est de présenter l'état de l'art des techniques de détection des manipulations de l'image numérique.

Il existe trois catégories principales de manipulation d'image : l'amélioration, la composition et le copier-coller.

- L'amélioration permet de mettre en valeur certains éléments de l'image. Elle peut se faire en changeant les couleurs de ces éléments pour les rendre plus visibles, en troublant les éléments autour, en modifiant l'histogramme des intensités lumineuses.
- La composition consiste à combiner plusieurs images de manière à créer une nouvelle image. Ce type de manipulation peut, par exemple, donner l'illusion que deux personnes se sont côtoyées, comme l'illustre la figure 11. Dans cet exemple, l'image de gauche est une combinaison des trois images de

droite. Nous pouvons constater une modification des acteurs ainsi que du lieu de la scène, laissant ainsi penser que les deux chefs d'états se sont rencontrés à la Maison Blanche.



Figure 11 : Manipulation de photographies diplomatiques par composition

- Le copier-coller consiste à dupliquer une région de l'image pour la réinsérer dans d'autres zones. Cette méthode peut être utilisée pour masquer des éléments tels que des dessins sur des vêtements, des personnes, des avions dans le ciel ou autres. La figure 12 illustre un exemple d'image dans laquelle une région a été dupliquée pour masquer un véhicule.



Figure 12 Manipulation d'une prise de vue aérienne militaire par copier-coller

Le copier-coller peut être associé :

- au « resampling » ou ré-échantillonnage qui consiste à changer l'échelle d'un élément de l'image ;
- aux modifications d'histogramme, pour jouer notamment sur les différences d'illuminations entre deux régions provenant d'images différentes ;
- au « blurring », pour créer un flou et ainsi rendre une inscription illisible, par exemple ;
- à d'autres altérations...

Face à ces techniques de manipulations, il existe différents procédés d'analyse afin de détecter l'imposture.

Une des méthodes consiste à s'intéresser uniquement à la détection de régions dupliquées dans l'image. L'algorithme exposé propose de découper l'image en blocs, de vectoriser les blocs, de trier les vecteurs puis de comparer les vecteurs proches pour retrouver des blocs identiques. Deux types de correspondances sont admis : l'« exact match », qui recherche les blocs strictement identiques et le « robust match », qui admet une erreur ou différence pouvant être due, par exemple, à la compression. La principale limite de cette méthode est due au fait que les blocs étudiés sont découpés en faisant glisser sur l'image un carré de la taille choisie. Pour une photographie classique, faisant quatre millions de pixels (l'image est supposée carrée et que ses côtés font chacun 2000 pixels), si nous choisissons d'étudier des blocs de 8 x 8 pixels, il faut en générer $(2000-8) \times (2000-8)$, soit trois 968 064 blocs, pour couvrir toute l'image... Les blocs, une fois vectorisés, ont une longueur de $8 \times 8 = 64$ éléments. Il faut donc créer une matrice de trois 968 064 lignes et 64

colonnes, qu'il faut ensuite trier et dont il faut comparer les lignes une par une ... En choisissant des blocs plus grands, le nombre de blocs est diminué, mais la taille des blocs vectorisés est augmentée. La méthode est donc difficilement implémentable, car elle génère des temps de calculs trop importants. De plus, cette méthode ne s'intéresse qu'à un seul type de manipulation de l'image, ce qui limite son efficacité.

Les défauts d'illumination constituent également un objet d'étude. En effet, la manipulation d'une partie de l'image peut engendrer une incohérence dans les sources lumineuses ou les ombres portées. L'équipe de M.K. Johnson a ainsi décrit une technique permettant d'estimer la direction (à un degré de liberté) d'une source lumineuse. Malheureusement, leurs résultats ont été principalement obtenus à partir d'images de synthèse, et sont très limités en ce qui concerne de réelles photographies.

Une autre approche, très prometteuse, consiste à détecter le motif de bruit que génère tout capteur d'appareil photo numérique, et ce de manière tout à fait spécifique. La méthode est fondée sur la détection (automatique ou non) de régions dans lesquelles ce motif est absent. Ceci permet non seulement de déterminer si une image a été manipulée, mais également de positionner la modification dans l'image.

Il existe donc différentes possibilités, dont une technique originale proposée par Perrot P *et al* [15], à disposition des experts afin de détecter les manipulations au sein d'une image mais aussi de localiser ces manipulations. Ce dernier aspect est particulièrement important dans un cadre pénal.

3.4. La reconnaissance faciale

L'identification d'un suspect à partir de son visage extrait d'une vidéosurveillance par exemple est une problématique particulièrement sensible [15]. Comme pour la voix, il ne peut s'agir de réponse binaire mais d'une réponse pondérée en fonction des conditions de prises de vues, d'éclairage mais aussi de la qualité de l'image de question et de celle de comparaison. Nous allons, dans cette partie, détailler les approches automatiques avant d'évoquer les possibilités de complément par des données plus visuelles. Les systèmes de reconnaissance automatique [16] [FRGC], quelle que soit la modalité exploitée, reposent sur trois phases : une phase d'apprentissage, une phase de test et une phase de décision. Lors de la phase d'apprentissage, les caractéristiques de chaque image sont extraites et stockées afin de constituer une base de modèles. Lors de la phase de test, l'image de question est pré-traitée, puis ses caractéristiques sont extraites. La phase de décision, consiste à établir une mesure de similarité entre l'image de question et les modèles afin de déterminer la distance la plus faible. La différence entre les méthodes proposées dans la littérature réside dans le choix des caractéristiques, l'extraction de celles-ci, et les techniques de classification ou modélisation.

Nous distinguerons les méthodes globales, locales et hybrides.

3.4.1. Les méthodes globales

Les *méthodes globales ou holistiques* utilisent le visage dans sa globalité comme entrée du système de reconnaissance. Une des méthodes les plus connues dans cette catégorie est celle développée par M. Turk et P. Pentland : les Eigenfaces [17]. Elle est basée sur l'Analyse en Composantes Principales (ACP ou PCA en anglais) et sur les travaux de Teuvo Kohonen (1989) et Kirby et Sirovich (1989). Mais plusieurs autres méthodes ont été développées en se basant sur l'ACP (Analyse en composantes principales) : les probabilistic Eigenfaces fondées sur les méthodes bayésiennes [18], les Fisherfaces [19] qui utilisent, en plus de l'ACP, l'analyse discriminante linéaire aussi appelée Fisherface (FLD/LDA). Dans le cas de l'utilisation de la LDA, qui est aussi une approche statistique, la démarche consiste à classer des échantillons inconnus avec des échantillons connus, tout en maximisant la variance inter classe (entre deux individus différents) et minimiser la variance intra classe (pour un même individu). Cela signifie que plusieurs images de postures différentes d'un même individu sont utilisées. Parmi les autres méthodes globales, nous retrouverons : la méthode des SVM [17], qui utilise les Support Vector Machine (SVM) ou séparateur à vastes marges pour classifier et la méthode des indépendant-component analysis (ICA) [20]. Il existe également des techniques basées sur les réseaux neuronaux comme la Probabilistic Decision-Based Neural Network (PDBNN) [21].

3.4.2. Méthodes locales

Dans le cadre des *méthodes locales*, les caractéristiques locales sont utilisées comme entrées du système de reconnaissance. Il y a donc une phase d'extraction de ces paramètres locaux tels que le nez, la bouche, les yeux, et de leurs coordonnées. Ensuite vient une phase de classification et d'analyse statistique. Ces méthodes sont réputées moins sensibles aux changements de pose que les méthodes globales, mais nécessitent de disposer d'images de bonne résolution. La plupart de ces systèmes ne fonctionnent pas si les yeux sont fermés ou masqués. Ce sont les premières méthodes à avoir été développées par Kelly [22] en 1970 et Kanade [23] en 1973 : une mesure des distances et des angles était prise entre différents points anthropométriques (points pertinents du visage communs à chacun), puis il y avait une phase de comparaison. Par la suite des techniques plus précises ont été développées : la méthode de Cox en 1996, qui avait l'inconvénient d'utiliser aussi des mesures extraites manuellement, puis des méthodes basées sur les modèles cachés de Markov, *Hidden Markov Model* (HMM) [24], qui n'ont plus besoin d'extraction manuelle des points. Un des systèmes les plus performants de cette catégorie est le graph matching system développé par Okada *et al* en 1998 [16], il est basé sur les DLA : Dynamic Link Architecture. Cette technique a ensuite été étendue aux Elastic Bunch Graph Matching [25 ; 26] qui donnent de bons résultats. Dans cette méthode, des points caractéristiques sont localisés de manière manuelle ou algorithmique, puis un treillis élastique virtuel est appliqué sur l'image de visage à partir de ces points. Chaque point représente un nœud labellisé auquel est associé un jeu de coefficients d'ondelettes complexes de Gabor, appelés Jet. La comparaison se fait sur une mesure de similarité entre les différents jets et la longueur des segments du treillis de deux images. Les réseaux neuronaux sont aussi utilisés dans cette catégorie avec par exemple, la méthode self-organizing map [14].

3.4.3. Les méthodes hybrides

Enfin, les *méthodes hybrides* qui comme leurs noms l'indiquent, utilisent à la fois le visage dans sa globalité mais aussi des caractéristiques locales. Pentland a développé une de ces méthodes : les modular Eigenfaces aussi appelées Eigenmodules. Quelquefois, les méthodes globales sont utilisées uniquement sur la partie supérieure de la face, la partie inférieure (la bouche) étant considérée comme trop variée. Plusieurs algorithmes pour de la reconnaissance faciale en 3D sont des méthodes hybrides [25 ; 37].

Parmi les différentes méthodes proposées, il est difficile de définir la meilleure. En effet, la qualité des systèmes dépend de plusieurs paramètres et toutes les méthodes ne sont pas égales vis-à-vis de ces critères. Il faut donc choisir une méthode qui corresponde le mieux aux besoins de l'application et aux circonstances dans lesquelles va être utilisé le système de reconnaissance. A titre d'exemple, nous pouvons noter que les méthodes locales nécessitent de disposer d'images de bonne résolution, alors qu'avec les méthodes globales, l'utilisation d'images de petite dimension est possible.

Il existe malheureusement des cas où l'identification automatique ne s'avère pas utile. L'étude de Perrot *P et al* de 2008 [15] établit les limites de l'approche analytique automatique du visage à un minimum de 25 pixels entre les deux yeux. La figure 13 illustre l'impossibilité d'effectuer une reconnaissance faciale en raison du nombre insuffisant de pixel entre les deux yeux de l'individu à identifier.

Cette approche automatique peut être complétée à des fins de pondération par une approche plus anthropométrique. La technique la plus élémentaire consiste, dans le cadre d'une identification par exemple, à comparer visuellement deux individus et constater s'ils sont ou non les mêmes. La technique peut reposer sur de la superposition de visages normalisés [20 ; 22 ; 23 ; 24]. Ce type d'application a priori très simple n'est pourtant pas facile à exprimer sous forme de résultat fiable même entre photographies de bonne qualité (figure 14).

La comparaison peut ne pas être binaire (un contre un), la question est alors d'identifier un individu parmi N. Comme précédemment il n'est pas toujours évident d'identifier le bon individu, en revanche en éliminer est une tâche plus aisée.

Cette technique est initialement basée sur la mesure des particularités dimensionnelles d'un visage. Elle peut aussi reposer sur la comparaison mesurée des formes des différents éléments constitutifs d'un visage (nez, menton, bouche, yeux, oreille, etc...) (figure 17).

Il existe deux méthodologies différentes, l'une adopte la comparaison des mesures entre différents points anatomiques ou construits sur les différentes photos. Pour assurer la validité de cette méthode, les photos utilisées doivent avoir été normalisées. Porter et Doran [27] propose de conserver une distance minimale entre les deux pupilles de six cm. La deuxième technique consiste à utiliser des indices et des angles calculés à partir de mesures effectuées entre des points précis, bien définis sur les différentes régions faciales et reconnues pour leur stabilité, permettant ainsi de travailler sans tenir compte de l'échelle des photos utilisées. La méthode anthropométrique est rarement utilisée seule, elle est souvent couplée avec la technique décrite précédemment. Un certain nombre de caractéristiques précises que nous pouvons retrouver dans la littérature, sont listées ci-après à titre d'exemples. Cette liste est bien évidemment non exhaustive.

- Hauteur de la face : c'est la distance du bord inférieur du menton au point nasal. La hauteur de la face est en corrélation avec la longueur de la tête et la hauteur du nez.
- Largeur bizygomatique de la face : c'est la distance horizontale maximum entre les deux arcades zygomatiques. Elle présente une corrélation directe avec la hauteur de la face, les largeurs de la tête et du nez.
- Indice Facial Total : hauteur de la face x 100 / Largeur bizygomatique. L'indice est d'autant plus élevé que la face est plus étroite.
- La largeur du nez : c'est l'écartement maximum entre les ailes du nez.
- La hauteur du nez : c'est la distance entre le point nasal (ou nasion) et le point sous nasal.
- ...

Une description détaillée de l'ensemble de ces points est disponible dans [28 ; 29]. Ventura *et al* [30] utilisent dix paramètres anthropomorphiques (sourcils droit et gauche, les yeux, le point glabell³, le nez, la bouche, le pli naso-génien⁴, et le menton). D'autres traits peuvent également être utilisés selon le cas, notamment avec les possibilités que donne la séquence vidéo filmée ou les photos dont nous disposons.



Figure 13 Identification faciale impossible



Figure 14 Mesure par reconnaissance de forme

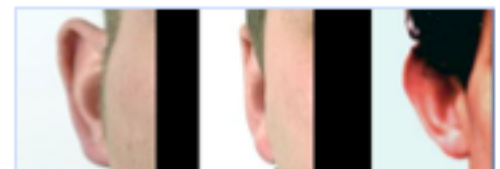


Figure 15 différentes formes d'oreille

³ La glabelle est la partie de l'os frontal située entre les arcades sourcilières, et au-dessus du nez

⁴ Rides profondes qui descendent en biais depuis la base du nez. On dit aussi sillons nasogéniens.

L'objectif de la comparaison visuelle est de mettre en évidence une analyse de formes particulières, de points spécifiques (figures 17 et 18). La forme du visage peut être ronde, ovale, la ligne des sourcils peut être droite, oblique, triangulaire... L'analyse de points spécifiques consiste à étudier le comportement de zones ou points particuliers (grain de beauté) d'un visage sur différentes vues. Cette technique s'avère robuste aux changements de pose (sourires, grimaces, etc.). En revanche, selon le pouvoir discriminant des caractéristiques remarquables, il n'est pas possible d'affirmer si deux individus sont les mêmes.

Le niveau de performance d'une telle reconnaissance est très difficile à formaliser. En effet il est à la fois dépendant des images à comparer mais aussi des personnes effectuant le choix. En outre, un certain nombre de tests [FRGC ; 16] tendent à prouver que la reconnaissance automatique s'avère globalement plus efficace.

Pour la première fois dans [31], des tests significatifs ont comparé les systèmes automatiques à la comparaison visuelle. Ces tests ont révélé que pour un faible taux de fausses alarmes lors de la comparaison visuelle, sept systèmes automatiques sur 22 ont apporté des résultats très comparables ou meilleurs sous différentes conditions de luminosité. Il est en outre particulièrement pertinent de constater que les performances des systèmes automatiques ont été multipliées par 10 depuis 2002 et par 100 depuis 1995 (figure 16).

Plutôt que d'opposer les approches entre elles, il est préférable de les combiner afin d'extraire le résultat le plus pertinent et le plus complet.

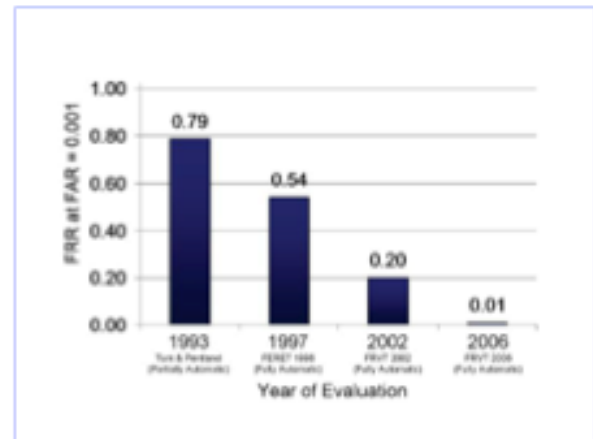


Figure 16 Étude comparative de performance des systèmes automatiques de 1993 à 2006

3.5. L'essor de la trois D

La modélisation et la réalisation d'images 3D [32] apportent une nouvelle source d'information à l'enquêteur par les éléments de perspectives qui y sont développés et les possibilités d'interaction. La 3D est employée pour accroître les possibilités d'identification des individus, pour modéliser une scène de crime ou encore pour analyser différentes hypothèses quant au déroulement d'une scène de crime. En matière d'identification, il est possible de reconstruire un visage en trois dimensions à partir d'une vue de face et d'une vue de profil suite à une prise de vues photographiques d'un suspect par exemple pour comparer ensuite des images à partir d'une orientation semblable. Nous présentons ci-dessous (figure 17) l'exemple d'un visage reconstruit.



Figure 17 Vues de face et de profil

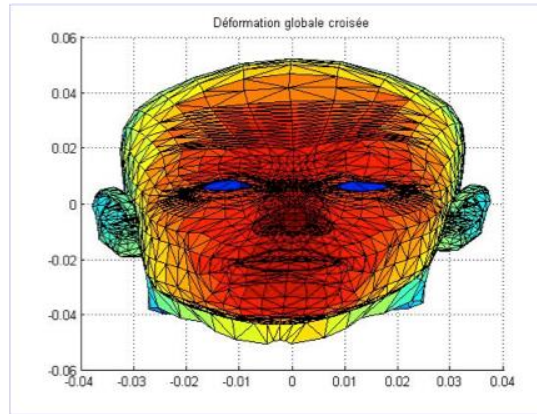


Figure 18 Vues de face et de profil

A partir de ces deux photographies, il est possible par déformation d'un modèle générique (figure 18) d'obtenir une représentation du visage de la personne en trois dimensions (figure 19) et de pouvoir animer celle-ci afin de la positionner de façon adéquate.

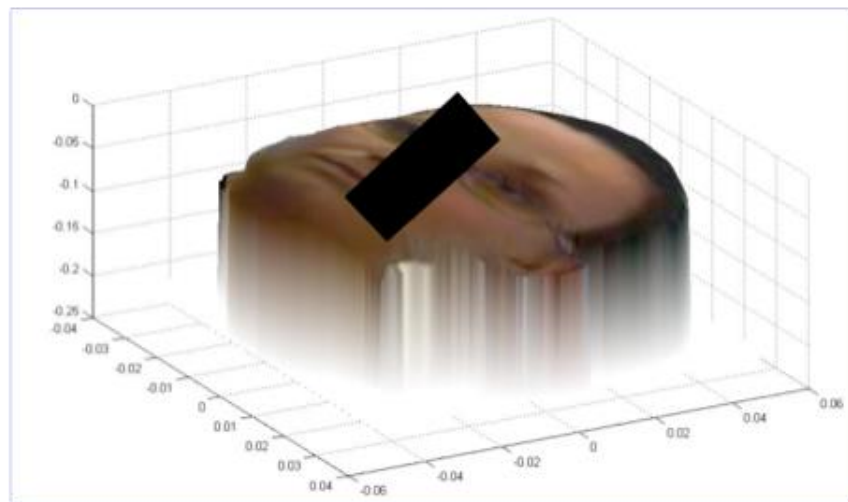


Figure n°19 Représentation 3D du visage

Outre l'amélioration des performances en termes d'identification la modélisation 3D est également un outil particulièrement efficace pour saisir une scène de crime et comprendre ce qui a pu se passer. L'utilisation d'un laser scanner (figure 20) rend cette tâche rapide, précise et efficace.

Il est possible, à partir d'une telle modélisation, non seulement de figer la scène mais aussi d'analyser les trajectoires balistiques, celles des traces de sang ou encore de comprendre un accident de la route. L'intérêt est dans le premier cas de déterminer le nombre de coup de feu, le nombre de tireurs, les éventuels rebonds ... à partir du ou des points d'impact. Dans le second cas, l'analyse des traces de sang qui est une discipline de police scientifique à part entière, trouve également dans le laser scanner un outil d'aide à la compréhension du nombre de coups portés, du lieu où les coups ont pu être portés, de la position comme de l'orientation du porteur de coup, de l'invraisemblance ou pas d'un scénario. Lors de la modélisation d'accident, la reconstruction en trois dimensions permet de fournir des explications quant au déroulement de l'accident et d'aboutir le cas échéant à une reconstruction cinématique et dynamique. Il est parfois possible de modéliser temporellement les trajectoires, de calculer les vitesses au moment du choc (vitesse finale) et d'estimer les vitesses initiales.

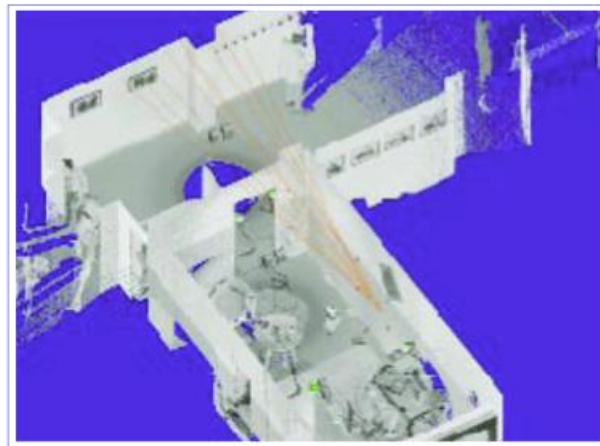


Figure n°20 Modélisation 3D de scène de crime

Au-delà de la scène de crime ou d'accident, l'utilisation par les experts du laser scanner permet également de modéliser des scènes d'attentat ou de catastrophe à grande échelle.

3.6. Le sondage radar

Le sondage radar est d'abord une analyse du signal électromagnétique. Cependant, il est également possible de considérer que le résultat à analyser est d'abord une image, ce qui justifie sa place dans ce chapitre. Le sondage radar a pour but d'offrir aux enquêteurs et aux magistrats, une technique non destructive de recherche de corps enfouis ou d'objets cachés. Patrick Perrot et al [31] établissent une méthodologie employée dans un cadre de police technique et scientifique. Le sondage radar permet de détecter tout type d'objet qui répond au plan électromagnétique, de façon différente de son environnement : des billets de banques dans un mur, un corps enterré dans un jardin, des bijoux dans un faux plafond ou encore une cache dans une maison. En effet, une telle technique s'avère particulièrement utile pour détecter des pièces cachées comme dans le cas de l'affaire de [Natascha Kampusch en 2006](#) en Autriche. Dans le cadre spécifique de la recherche de corps pouvant avoir été enterrés, il est en général intéressant d'associer le sondage radar aux équipes cynophiles spécialisées.

Le choix de la profondeur de sondage et de la taille de l'objet est lié à l'antenne utilisée. En effet, il est possible de détecter un objet de 20 cm à trois mètres de profondeur avec une antenne de 400 Mhz et un objet de 2 cm dans un mur de 20 cm avec une antenne de 1.5 GHz. Plus la fréquence de l'antenne est haute, plus la résolution de l'objet est fine et à la profondeur faible, plus la fréquence de l'antenne est basse, plus la résolution de l'objet est imprécise et la profondeur importante. A partir de cette technique, il n'est désormais plus utile de retourner un terrain pour y retrouver des traces de corps enfouis ou de détruire une habitation pour rechercher des caches dans les murs.

Le sondage radar est déjà très utilisé et a fait ses preuves dans les domaines de l'archéologie, du bâtiment, comme de l'architecture. L'IRCGN (Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale) est le premier laboratoire criminalistique français à se doter d'un tel outil. Le principe repose sur la théorie de la propagation électromagnétique. Par l'envoi d'une onde dans le sol ou de tout autre matériau, il est possible de récupérer un profil qui permet de déterminer un contenu très précis, mais pas toujours aisé à interpréter. C'est la raison pour laquelle les équipes d'experts sont formées à la fois aux techniques d'investigation et d'interprétation (figures 21 et 22).



Figure 21 Emploi du radar de sondage

Le sondage radar peut s'appliquer à tout type de matériaux, de la terre au béton, et peut détecter tout type d'objet. Même si l'interprétation du résultat nécessite un travail d'expert, l'emploi du radar est très aisé grâce à la possibilité de l'utiliser à la main ou associé à un chariot. En outre, un premier résultat d'investigation est fourni dès le passage de l'antenne radar sur les lieux à examiner permettant ainsi de prendre immédiatement la décision d'approfondir ou non l'examen, et d'entamer des travaux de destruction ou de terrassement. De retour au laboratoire, l'expert peut, si cela s'avère nécessaire, approfondir ses investigations et apporter de nouveaux détails lors de la phase d'interprétation.

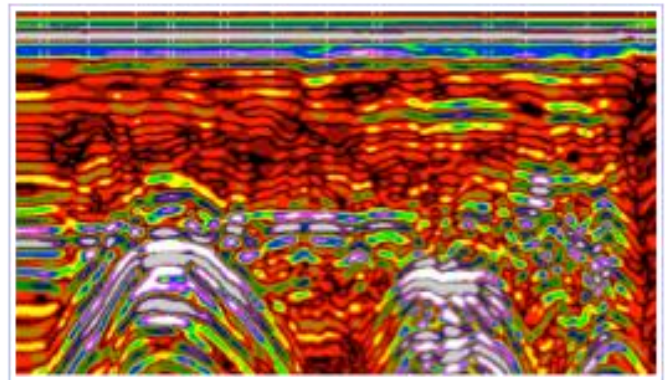


Figure 22 Image radar

4. Les nouveaux champs d'application criminelle : réseaux sociaux et monde virtuel

L'objet de cette partie n'est pas de dévoiler les techniques utilisées face à la potentialité criminelle de ces nouveaux champs d'action mais plutôt de présenter les dangers et les risques que constituent ces derniers. Cette présentation est aujourd'hui encore prospective mais pour combien de temps...

4.1. De nouveaux espaces ouverts à la criminalité

L'apparition des mondes virtuels comme des réseaux sociaux est un phénomène récent et émergent qui fait appel à des techniques sophistiquées dont le champ d'application est très large. L'objet de ces nouveaux univers n'est bien entendu pas de fournir un espace idéal au criminel mais cette question ne peut être occultée. Il convient donc de considérer ces espaces avec prudence et vigilance en évitant toute paranoïa excessive. En effet, l'actualité nous a révélé certaines craintes suscitées par ces mondes virtuels mais aussi par l'intrusion dans la vie privée via les réseaux sociaux. En décembre 2007, un hollandais de 17 ans a été arrêté pour avoir dérobé des meubles d'une valeur de 4000 euros dans le monde virtuel de Habbo Hotel. Le 25 janvier 2008, le Figaro relatait l'inquiétude des acteurs de la police judiciaire dans le rapport aux mondes virtuels. En effet, ces derniers constituent des espaces pour les pervers, les escrocs comme les manipulateurs. Les craintes les plus concrètes se situent autour des groupes extrémistes, des sectes ou des pervers sexuels. Outre-Atlantique, les jeux en ligne comme les mondes virtuels sont analysés pour rechercher des criminels et des terroristes. En 2007, le **Federal Computer Crime Unit (FCCU)** belge a été chargé par les

enquêteurs de mener une enquête sur un viol perpétré dans le monde virtuel de Second Life. L'association Familles de France a mis en cause Second Life, sur le fait que non seulement des adultes consentants ont accès à des images à caractère sexuel, mais que celles-ci sont également accessibles à des mineurs sans aucune restriction. A travers ces différents exemples d'infractions ou d'infractions potentielles, nous percevons la dimension internationale de ces univers. Dans le monde virtuel, comme dans le monde réel, la plupart des activités criminelles sont aujourd'hui le fait de particuliers ou de petits groupes et constituent une forme de crime désorganisé. Toutefois, il apparaît de plus en plus clairement que les groupes criminels organisés exploitent eux aussi les nouvelles possibilités offertes par ces univers.

Les univers virtuels sont donc aussi aujourd'hui un espace à prendre en compte par les organisations de sécurité (policière ou judiciaire) et donc de police scientifique, car ils sont totalement intégrés à notre réalité et devrait l'être de plus en plus. Nous pouvons définir le « crime virtuel » comme le simulacre d'un crime qui serait punissable dans le monde réel et qui a un impact dans ce monde réel. Cette définition se distingue donc de la cybercriminalité classique (fraude, piratage, vol de données). Pour autant cette cybercriminalité trouve également sa place au sein des mondes virtuels, où elle constitue le support de l'infraction ou son moyen. Ces univers virtuels offrent malheureusement au délinquant un sentiment d'impunité, d'universalité et d'irresponsabilité (selon les cas). Dès lors, pédophilie, commerce du sexe, détournements monétaires, blanchiment d'argent, diffusion de la violence, etc., sont des délits qui migrent de notre monde réel vers le virtuel et réciproquement. La frontière entre les univers virtuels et le monde réel est aujourd'hui très perméable et parfois difficile à identifier.

Outre les mondes virtuels, les réseaux sociaux peuvent eux aussi constituer une source d'infractions. Malheureusement la grande majorité des personnes présentes sur ces réseaux ne mesure pas la dangerosité d'une exposition sans contrôle de sa vie privée.

4.2. Les moyens de protection à disposition

Face à toutes ces menaces, il devient urgent de se demander quelles sont les difficultés à résoudre pour nous prémunir et quel est l'état juridique de notre protection. Très cher au monde forensique, le principe de Locard de contamination réciproque entre une scène de crime et un malfaiteur est beaucoup plus tenu sur les mondes virtuels. En effet, de règle générale, pour qu'un crime ait lieu, une certaine proximité physique entre la victime et le délinquant est nécessaire. Au regard des crimes violents, la rencontre entre la victime et le délinquant est requise. L'enquête judiciaire sur les mondes virtuels dépasse les techniques traditionnelles de l'investigation pour se spécialiser vers une « cyberinvestigation ». Les forces de l'ordre sont alors dans l'obligation de développer une nouvelle expertise pour un nouveau type de scène de crime, celle ancrée dans la virtualité. Par « cyberinvestigation », il faut entendre collecte et préservation de l'indice numérique, traçabilité de l'infraction, identification numérique du ou des malfaiteurs, et présentation légale des éléments de preuve numérique. L'investigation d'une scène de crime virtuelle est en général beaucoup plus difficile que sa contrepartie physique. Le Département de la Justice américaine a énoncé quatre des principales difficultés à résoudre :

- la collecte d'information pertinente : le flux d'information échangé nécessite des capacités de tri et de fouille de données ;
- l'anonymat des utilisateurs au moment de l'infraction et les possibilités de camouflage de son identité : le login, mot de passe d'un utilisateur n'est malheureusement pas un gage d'identification ;
- la traçabilité (source et destination) des données transférées sur les réseaux Internet : l'adresse IP devrait permettre de repérer l'ordinateur utilisé par le coupable. Mais cette adresse est propre à une machine et non à un utilisateur. Il existe en outre de nombreux cybercafés, ou des connexions sans fil qui permettent de ne pas utiliser sa propre adresse IP ;
- le cryptage des données : celui-ci est de plus en plus utilisé et complique considérablement les investigations. En effet, les informations sont rendues plus inaccessibles.

A ces différents points, nous pouvons ajouter l'internationalisation des échanges qui nécessite une collaboration juridique et policière transfrontalière. Le cyberenquêteur devra donc se doter de compétence et d'outils capables de surveiller les univers virtuels, de mettre en évidence les comportements anormaux, d'identifier les individus, de détecter le passage au monde réel, de qualifier l'infraction.

Outre la tâche des enquêteurs, la loi doit elle aussi s'adapter à ces nouveaux enjeux. Si nous définissons le crime virtuel comme le simulacre d'un crime punissable dans le monde réel, nous nous heurtons à une difficulté qui est la différence entre le jeu ou la fiction et la réalité. En effet, il n'est pas envisagé de condamner un joueur qui tue son adversaire dans un simple jeu, voire de condamner un acteur qui joue un assassin. Ces exemples incitent donc à ajouter à la définition du crime virtuel, les conséquences de ce dernier dans le monde réel. Si nous reprenons l'exemple du Federal Computer Crime Unit (FCCU) belge en charge de mener une enquête sur un viol perpétré dans le monde virtuel de Second Life, nous percevons la difficulté de définir le crime virtuel. En théorie, le viol d'un avatar, qui suppose l'exercice d'une coercition virtuelle, ne devrait pas avoir de conséquence juridique dans le monde réel : il s'agit d'une simulation ludique où la contrainte n'est, finalement, pas différente de celle subie par un joueur d'un jeu guerrier, où l'on se tue ou se blesse virtuellement. La « moralité » de cet acte ne doit se poser qu'en fonction des règles internes au jeu : le viol virtuel deviendrait une simple « tricherie », qui n'aurait d'autre conséquence qu'une exclusion du violeur de la communauté des joueurs. Le problème est qu'un tel acte peut découler de mœurs perverses et engendrer de réelles perturbations psychologiques chez la victime. Toute la difficulté est de définir cette limite entre l'acte de tricherie et le crime. Certains exemples récents révèlent une position juridique qui se dessine au fur et à mesure des affaires. En Suisse, par exemple, la simulation même virtuellement d'un acte pédopornographique peut valoir jusqu'à trois ans de prison ferme à l'avatar identifié, à savoir l'internaute qui utilise le service en question. En attendant une réelle définition de la notion de crime virtuel, une des solutions est de détecter les infractions relevant de la cybercriminalité classique, comme un éventuel piratage informatique des données relatives à l'avatar-victime, ou l'incitation dans l'espace virtuel à une criminalité sexuelle dans le monde réel, l'incitation à la pédophilie, à moins qu'il ne s'agisse d'outrages aux mœurs provoqués par la représentation du simulacre de viol.

Pour être efficaces, les mesures juridiques doivent être transfrontalières. Nous pouvons noter deux conventions dont l'objet est d'accroître cette coopération internationale. La première tentative à cet effet, est la [Convention sur la cybercriminalité](#) mise au point par le Conseil de l'Europe. Celle-ci représente le premier traité international portant sur la criminalité informatique. L'objectif est la lutte contre les questions de violations de la propriété intellectuelle, de fraude, de la pornographie juvénile et d'attaques contre la sécurité des réseaux. La seconde tentative est la convention des Nations Unies contre la criminalité transnationale organisée. Dédiée au crime organisé, cette convention dérive également sur la cybercriminalité de plus en plus utilisée au sein de cette criminalité organisée.

Au niveau de la législation française, les textes relatifs à la criminalité des mondes virtuels sont quasi inexistant hormis à travers les articles liées à la cybercriminalité où à la protection des mineurs :

- les articles [323-1 et suivants](#) du code pénal qui sanctionnent les atteintes aux systèmes de traitement automatisé de données ;
- l'article [227-24](#) du code pénal relatif à la fabrication, au transfert et à la diffusion de messages à caractère violent ou pornographique ;
- l'article [227-23](#) du code pénal sur la pornographie mettant en scène un mineur.

Ces différentes mesures révèlent la prise en compte globale du phénomène. Malheureusement, certaines difficultés demeurent difficiles à résoudre : la communication entre les instances juridiques, la communication entre les forces de sécurité, la résistance de certains pays à ne pas participer à cette lutte. En outre, la problématique certainement la plus difficile à résoudre tient à la large différence entre le temps de l'action juridique et le temps de l'action criminelle virtuelle. Les différentes mesures et articles législatifs mis en œuvre aujourd'hui concernent la criminalité informatique de façon très globale, et n'ont pas encore considéré la spécificité des mondes virtuels. Une opportunité d'intégration de cette criminalité particulière dans les outils de lutte, relèvera de la contribution conjointe des enquêteurs, des experts et des magistrats.

5. Conclusion

Ce bref aperçu des applications du traitement du signal révèle l'étendue des travaux réalisés dans ce domaine mais aussi de ceux à venir. En effet, ces techniques offrent, par les nouveaux supports et par les nouveaux moyens de diffusion, un champ d'expérimentation universel sans limite spatiale ou temporelle. Les activités liées au signal, qu'il soit audio, vidéo ou électromagnétique, ont été abordées et des champs d'investigation comme les techniques d'identification, d'authentification ou d'amélioration du signal ont été présentées.

Face à cette diversité d'outils et de problèmes très spécifiques à traiter, l'expert doit donc être de plus en plus spécialisé pour être en mesure de suivre les évolutions techniques non moins variées et performantes à la disposition des délinquants et criminels mais aussi être capable d'anticiper ces évolutions. La course entre le gendarme et le voleur est plus que jamais d'actualité.

6. Bibliographie

- 1) Perrot P, Chollet G. La voix : un atout à l'identification d'individus ? Proceedings WISG 2008 (Workshop Interdisciplinaire sur la sécurité globale). Troyes – France ; 2008.
- 2) Koenig BE. Authentication of Forensic Audio Recordings. J. Audio Eng. Soc. 1990 ; 38 ; 1-2, 3-33.
- 3) Perrot, P, Aversano G, Blouet R, Charbit M, Chollet G. Voice Forgery using Alisp : indexation in a client memory. Acoustics, Speech, and Signal Processing In Proceeding ICASSP IEEE International Conference. 2005 ; 1 ; March 18-23 : 17 – 20.
- 4) Reynolds DA. Speaker identification and verification using Gaussian mixture. Speaker models. Speech Commun. 1995 17 (1-2) : 91–108.
http://visgraph.cs.ust.hk/biometrics/Papers/Voice/reynolds_spcomm1995.pdf
- 5) Boë LJ. Forensic voice identification in France. Revue Speech Communication ed. Elsevier, 2000 ; 31 ; 2-3 : 205-224.
<http://www.afcp-parole.org/doc/SpeComLJB.pdf>
- 6) Pellicano AJ. Tape Recordings as Evidence. California Lawyer, October 1990.
- 7) Dean DJ. The Relevance of Replay Transients in the Forensic Examination of Analogue Magnetic Tape Recordings. in Publication No.16 à 91, Éd. Scientific Research and Development Branch, Home Office, British Government, London. 26 p.
- 8) Molero S. Establishment of the Individual Characteristics of Magnetic Recording Systems for Identification Purposes. Problems of Forensic Sciences, Second EAFS meeting, Cracow . 2001 ; XLVII.
- 9) Koenig BE, Lacey DS. Forensic Authentication of Digital Audio Recordings. Journal of audio Engineering Society JAES. 2009 ; 57(9) : 662-95.
<http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=14836>
- 10) Yang R, Qu Z, Huang J. Detecting digital audio forgeries by checking frame offsets, Proceedings of the 10th ACM workshop on Multimedia and security : Session Forensic. Oxford UK 2008 : 21-26.
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1411328.1411334&coll=DL&dl=GUIDE&CFID=621036806&CFTOKEN=43516537>
- 11) Grigoras C. Digital Audio Evidence Analysis. Advanced Topics in Electrical Engineering Symposium, 2002, Bucharest.
<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-54d8fb73-0020-34bd-8d31-cc1bfd2a75a8>
- 12) Grigoras C. Applications of ENF Analysis in Forensic Authentication of Digital Audio and Video Recordings. Journal of audio Engineering Society JAES. 2009 ; 57(9): 643-61. <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=14835>
- 13) Perrot P, Bredin H, Chollet G. Biometric and forensic sciences : a same quest for identification? In Proceedings of International Crime Science Conference, UK – London 2007.
- 14) Ramos D, González-Rodríguez J, González-Domínguez J, Lucena-Molina JJ. Proceedings Interspeech 2008 September : 1493 – 1496.
Addressing <http://interspeech2008.forensic-voice-comparison.net/papers/Ramos,%20Gonzalez-Rodriguez,%20Gonzalez-Dominguez,%20Lucena-Molina%282008%29%20Addressing%20database%20mismatch%20in%20forensic%20speaker%20recognition%20with%20Ahumada%20III.pdf>
- 15) Perrot P, Torres C, Laran JA. L'identification biométrique en vidéosurveillance. Proceedings WISG 2008 (Workshop Interdisciplinaire sur la sécurité globale) Troyes, France 29 et 30 janvier 2008.

- 16) Okada K, Steffans J, Maurer T, Hong H, Elagin E, Neven H, Malsburg CVD. The Bochum/USC Face Recognition System and how it fared in the FERET Phase III Test. *Face Recognition : From Theory to Applications*, Berlin, Germany, Eds. Springer-Verlag. 1998 : 186–205.
- 17) Turk MA, Pentland AP. Eigenfaces for Recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1991; 3 (1) : 71- 86. <http://www.face-rec.org/algorithms/PCA/jcn.pdf>
- 18) Perrot P, Lambert C, Le Scoarnec H. Reconnaissance faciale : la question de la validation en sciences forensiques. *Proceedings of WISG 2009 (Workshop Interdisciplinaire sur la sécurité globale Troye France 27 - 28 janvier 2009)*.
- 19) Phillips PJ. Support vector machines applied to face recognition, *Advanced in Neural Information Processing System*. 1998, 11, 803–809.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=3E77D0F89DF7A01F1EBC213E2F277196?doi=10.1.1.25.2690&rep=rep1&type=pdf>
- 20) Vanezis P, Brierkey C. Facial image comparison of crime suspects using video superimposition. *Science et Justice*, 1996 ; 36 (1) : 27-33.
[http://www.scienceandjusticejournal.com/article/S1355-0306\(96\)72551-0/abstract](http://www.scienceandjusticejournal.com/article/S1355-0306(96)72551-0/abstract)
- 21) Grother PJ, Micheals RJ, Phillips PJ. Face Recognition Vendor Test 2002 Performance Metrics Proceedings 4th International Conference on Audio Visual Based Person Authentication, June 2003. (435KB).
<http://citeseer.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=733C5E563900BE39D17C308F3478D0EE?doi=10.1.1.97.8763&rep=rep1&type=pdf>
- 22) Aulsebrook WA, Iscan MY, Slabbert JH, Becker P. Superimposition and reconstruction in forensic facial identification : a survey. *Forensic Sci Int*, 1995 ; 75 : 101-120.
http://serials.unibo.it/cgi-ser/start/it/spogli/df-s.tcl?prog_art=1376318&language=ITALIANO&view=articoli
- 23) Austin-Smith D. Video superimposition at the C.A. Pound Laboratory 1987 to 1992. *J Forensic Sci*, 1999 ; 44 , 4 : 5p.
https://www.researchgate.net/publication/12866366_Video_superimposition_at_the_C.A._Pound_Laboratory_1987_to_1992
- 24) Dorion RBJ. Photographic superimposition. *J Forensic Sci*. 1983 ; 28 : 724-734.
Face Recognition Grand Challenge – <http://face.nist.gov/frgc>
- 25) Romdhani S. Face recognition using principal components analysis. Ph.D. Thesis University of Glasgow. 1996, 57 p.
- 26) Halberstein R.A. The application of anthropometric indices in forensic photography : three cases studies. *J Forensic Sci*. 2001 ; 46 ; 6 : 1438-1441.
https://www.zotero.org/groups/society_of_forensic_anthropologists_sofa_-_forensic_anthropology_bibliography/items/itemKey/6H3RC32R
- 27) Porter G, Doran G. An Anatomical and Photographic Technique for Forensic Facial Identification. *Forensic Science International*. 2000 ; 114 : 97-105.
https://www.researchgate.net/publication/12355348_An_anatomical_and_photographic_technique_for_forensic_facial_identification
- 28) Perrot RJL. Use of anthropological methods in the identification of unknown individuals : Human Remains and Armed Robbers. 14 th Meeting of the International Association of Forensic Sciences, 1996 August 26-30, Tokyo, Japan. *Current topics in Forensic Science. Forensic Anthropology*. 1997 ; 1 : 161 – 164.
- 29) Al Khatib MA. Le rôle de l'anthropologie dans les techniques émergentes de reconnaissance faciale - Rapport de master de sciences biologique et médicale. (Responsable : Perrot R.) 15 septembre 2005.
- 30) Ventura F, Zacheo A, Ventura A, Pala A. Computerised anthropomorphometric analysis of images : case report. *Forensic Sci Int*. 2004 ; 146 (Sup 1) : S211-S213.
<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=16515560>
- 31) Poilpré MC, Perrot P, Talbot H. Image tampering detection using Bayer Interpolation and JPEG compression. In *Proceedings of the 1st international conference on Forensics applications and techniques in telecommunications, information and multimedia and workshop, 2008 e-forensics 21-23, january 2008 – Adelaïde Australia*. eForensics '2008, 17, page 5. ICST Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, (2008) ISBN : 978-963-9799-19-6.
http://www.bibsonomy.org/bibtex/2f923e14ef8a2aa35fae21209dbb5f401/hugues_talbot
- 32) Romdhani S, Ho J, Vetter T, Kriegman DJ. Face Recognition Using 3-D Models : Pose and Illumination. Novel face recognition algorithms, based on three-dimensional information, promise to improve automated face recognition by dealing with different viewing and lighting conditions. Vol. 94, No. 11, November 2006 | *Proceedings of the IEEE 1977-99*.
<http://gravis.cs.unibas.ch/publications/ProcIEEE06.pdf>

33) Perrot P, Chartier L, Carlier J. The role of ground penetrating radar in forensic sciences. International Crime Science Conference - Londres 2007

<http://www.ucl.ac.uk/jdi/events/crime-science-conf/icsc-2007>

34) Lotia P, Khan MRA. Review of various score normalization techniques for speaker identification system International Journal of Advances in Engineering & Technology, May 2012. Vol. 3, Issue 2, pp. 650-667.

http://www.academia.edu/1538000/A_REVIEW_OF_VARIOUS_SCORE_NORMALIZATION_TECHNIQUES_FOR_SPEAKER_IDENTIFICATION_SYSTEM

35) Chollet G, Perrot P, Karam W, Mokbel C, Kanade SPetrowska-Delacrétaz. Identities, forgeries and disguises International Journal of Information Technology and Management (IJITM), Special Issue on Advances and Trends in Biometrics, 2012 ;11 (1-2) : 138-152.

<http://biblio.telecom-paristech.fr/cgi-bin/download.cgi?id=11277>

36) Perrot P, Preteux C, Vasseur S, Chollet G. Detection and Recognition of voice disguise. Proceedings, IAFPA 2007, The College of St Mark & St John, Plymouth, UK

http://www.iafpa.net/abstracts07/Perrot_et_al_-_IAFPA_2007.pdf

37) Tran NT, Ababsa FE, Charbit M, Feldmar J, Petrovska-Delacrétaz D, Chollet G. 3D Face Pose and Animation Tracking via Eigen-Decomposition based Bayesian Approach. Advances in Visual Computing. Lecture Notes in Computer Science. 2013 ; 8033 : 562-571.

<http://biblio.telecom-paristech.fr/cgi-bin/download.cgi?id=13031>

38) Bendris M, Charlet D, Chollet G. Introduction of quality measures in audio-visual identity vérification. In proceedings- 19-24 April 2009. Acoustics, Speech and Signal Processing, 2009. ICASSP 2009. IEEE International Conference on. pp 1913-1916.

<http://biblio.telecom-paristech.fr/cgi-bin/download.cgi?id=10106>

Chapitre 17. Les services de police scientifique en Europe

P. Margot

1. Introduction : les prémisses d'une « police scientifique », l'identité judiciaire.

L'emploi d'experts techniques ou scientifiques par les tribunaux remonte à l'antiquité et la connaissance scientifique est alors plutôt l'apanage des juges et des sages et non pas des services chargés du maintien de l'ordre. Alors que certaines disciplines se sont développées en Europe dès le XVI^{ème} siècle, comme la médecine légale ou les experts écrivains, c'est la révolution industrielle et ses développements qui voient apparaître des experts chimistes, physiciens, pharmaciens-toxicologues comme hommes de l'art, chargés d'éclairer les tribunaux lorsque des connaissances particulières étaient nécessaires dans l'accomplissement de la justice.



Figure 1 : Alphonse Bertillon (1853-1914)

Ce n'est qu'en fin de XIX^{ème} siècle que les besoins de la police, et de la police judiciaire en particulier, de pouvoir identifier les récidivistes (qui ne sont plus marqués au fer rouge) qui deviennent mobiles, débouchent sur un intérêt de l'application des sciences à l'identification et à la résolution des crimes. C'est une époque où le roman policier devient un genre populaire [1] avec des auteurs comme Poe ou Gaboriau alors que les disciplines scientifiques se développent et voient leurs applications s'étendre pour répondre aux besoins de la société et au développement de théories sur le criminel (anthropologie criminelle chère à Lombroso [2] et son « Homme criminel », théories psychologiques et sociologiques de la criminalité). C'est un peu un air du temps et les difficultés rencontrées par la Préfecture de Police de Paris pour identifier les criminels récidivistes stimulent l'esprit d'un jeune employé d'administration, Alphonse Bertillon, chargé de retranscrire et classer des fiches sur les récidivistes connus à Paris. Bien que les fiches soient accompagnées d'une photographie et de quelques informations signalétiques ainsi qu'un nom, le système ne fonctionnait pas. Les fiches étaient classées

alphabétiquement par nom, souvent faux, avec des signalements vagues et imprécis, sans système de classification. Venant d'une famille de scientifiques, Bertillon est rapidement convaincu qu'il peut développer un système standardisé. Il préconise le développement d'un système de classement des récidivistes basé sur des mesures de grandeurs osseuses fixes sur le corps humain. En tout 11 mesures (la taille, la hauteur du buste, l'envergure, la hauteur et la largeur de la tête, la largeur et la longueur de l'oreille droite, la longueur du pied gauche, les longueurs du médius et de l'auriculaire gauches ainsi que celle de la coudée gauche) subdivisées en groupes équivalents, lui permettent de réduire la taille de la population pour un jeu de mesure donné par environ 20 000. Après quelques réticences (il est menacé de renvoi par le préfet Andrieux en 1879), le préfet Camescasse autorise l'expérimentation du système à fin 1882 et donne un délai de trois mois pour apporter la preuve que le système fonctionne par l'identification d'un récidiviste ! Alors que Bertillon avait accumulé 589 fiches en deux mois, c'est à la veille du délai, le 16 février 1883, qu'il identifie un certain « Dupont » arrêté en flagrant délit de cambriolage à un certain « Martin » fiché près de trois mois auparavant ! C'est le premier récidiviste identifié par ce qui allait devenir l'anthropométrie criminelle ou « bertillonnage » [3]. Les résultats qui s'ensuivirent (49 identifications en 1883, 241 en 1884) ont provoqué un mouvement d'adoption à l'étranger et une formation du personnel des maisons d'arrêt en France dès 1885

par le service d'anthropométrie parisien qui s'est transformé en service de l'identité judiciaire de la Direction régionale de la Police judiciaire de Paris en 1893. Sous l'impulsion de Bertillon, le portrait signalétique de police (prise de vue selon un standard de face et de profil), la photographie métrique sur les lieux de crimes provoquent une émulation mondiale et le développement des services comparables sur tous les continents. Malgré la résistance de Bertillon, qui y voyait peut-être une concurrence à « son » anthropométrie, les empreintes digitales ont été ajoutées comme moyens accessoires d'identification sur les fiches anthropométriques dès 1893. Jusqu'alors, la seule question à laquelle répondait le système de classement, était de reconnaître et identifier une personne arrêtée comme étant une personne récidiviste (éventuellement connue sous un autre nom).

Il n'était alors pas question de mettre en relation des traces relevées sur un lieu de délit avec un criminel. En France, l'affaire Sheffer [4] allait montrer que la trace digitale laissée par l'auteur lors d'un meurtre pouvait être retrouvée dans la fiche anthropométrique enregistrée et permettre d'identifier l'auteur du crime. Certains penchent pour voir dans cet évènement la transition de la fiche comme élément administratif de police, de la fiche anthropométrique comme la mémoire de la police et de l'administration pénitentiaire pour reconnaître un récidiviste, vers une police scientifique qui va reconnaître les traces et identifier les récidivistes par leurs traces, même si un personnage de roman, Sherlock Holmes, familiarise et fascine le lecteur depuis quelques années avec sa capacité diagnostique, sur la base de l'observation de "petits riens" laissés par le criminel sur les lieux de son crime.

Il faut se rendre compte que cette transition s'est faite progressivement et partiellement inconsciemment, mais trois britanniques joueront un rôle clé aussi dans cette naissance d'une police scientifique. Le premier, William Herschel, fonctionnaire britannique aux Indes, se rend compte au début de sa carrière en 1858, que les indiens ne considèrent pas les engagements écrits comme contraignants. Une signature ne paraît pas être le signe d'un accord contractuel identifiant son auteur. Alors qu'Herschel demande à un dignitaire d'imprimer sa main sur un contrat, il remarque que cela impressionne son interlocuteur qui répondra à son engagement. Cela l'incite à utiliser cette méthode couramment et ainsi construire une collection d'empreintes. Cette observation provoque sa curiosité qui le conduit à étudier les dessins digitaux, leur permanence (il observe que les dessins sont permanents sur plus de 20 ans !), leur diversité dans la forme et le détail. Il reconnaît-là un élément signalétique permanent et individualisant idéal pour reconnaître l'auteur de l'empreinte encrée sur le bas d'un document. Ayant réalisé l'importance de ses observations pour identifier les récidivistes qui auraient été fichés, il écrit une lettre (la lettre de Hooghly) en 1877, pour aviser les services de la Couronne que l'empreinte digitale pouvait être utilisée pour identifier les récidivistes, et devait être utilisée dans les échanges commerciaux avec certains peuples pour obtenir une reconnaissance fiable des transactions. Cette lettre sera sans suite, et aurait probablement été oubliée si une controverse n'avait amené Herschel à se battre pour la priorité de sa découverte [5].

Henry Faulds qui était missionnaire médical au Japon avait observé la présence d'empreintes digitales imprimées dans des poteries anciennes, ce qui l'avait intrigué et conduit à faire une étude de la permanence et de la singularité de ces dessins. Il avait rapidement vu la possibilité d'utiliser la trace de ce dessin pour identifier les criminels. En 1880, il publie dans Nature [6] une lettre faisant état de cette découverte qui allait être le fondement même de la police scientifique (car il préconise non plus seulement l'identification du récidiviste par son dessin digital, mais le criminel par la trace qu'il a laissé sur les lieux de son crime) : « *When bloody finger marks or impressions on clay, glass, etc exist, they may lead to the scientific identification of criminals. Already I have had experience in two such cases. [...] There can be no doubt as to the advance of having, besides photographs, a nature-copy of the forever-unchangeable finger furrows of important criminals.* [1] »

2. Des structures différentes découlent de visions divergentes.

2.1. De l'identité judiciaire à la police scientifique et à la forensique.

L'absence d'une terminologie uniforme et, surtout, univoque ne favorise pas l'adoption d'une structure et d'une organisation spécifique et universelle. En particulier, la désignation d'une police qui serait scientifique a fait l'objet de nombreuses controverses qui ont conduit à une absence de fondation conceptuelle agréée et la construction d'une discipline sur un patchwork d'applications scientifiques disparates. Cette situation ne date pas d'aujourd'hui, mais prend ses sources dans une fin de siècle positiviste et dans des visions divergentes exprimées par les pionniers et dont on retrouve aujourd'hui encore l'influence.

Tout d'abord, en France, il est possible de parler d'un autre pionnier que Bertillon, Edmond Locard qui, le moins que l'on puisse dire, ne partageait pas la même vision des sciences et des techniques au service de l'investigation judiciaire.

Alphonse Bertillon à Paris, est l'inspirateur de l'identité judiciaire dès 1870 (qui est officiellement créée en 1893), l'autre Edmond Locard, de l'Ecole de Lyon sous l'égide de Lacassagne, crée un laboratoire de police scientifique en 1910 qui sera le germe de l'Institut National de Police Scientifique (INPS) d'aujourd'hui.

Le premier ayant permis le développement de mesures techniques pour identifier les récidivistes (anthropométrie criminelle – « bertillonage »), organiser le signalement (développement du portrait parlé), documenter les scènes de crime (photographie métrique) [7] (Bertillon, 1890) au sein de la police de Paris, ces méthodes sont naturellement devenues et restées essentiellement policières. Bertillon semble d'ailleurs avoir utilisé la terminologie « police scientifique » dès 1899.

Locard, quant à lui, venant de la médecine, et de la médecine légale en particulier, perçoit l'importance de la trace dans une perspective plus expertale. Il écrira d'ailleurs en 1929 [8] :

« Substituer la preuve indiciale au témoignage est une des tendances les plus nettes du droit pénal contemporain. »

Preuve indiciale n'est peut-être pas assez dire : surtout ce n'est pas tout dire. L'indice existait déjà dans le droit romain (...). Ce dont il s'agit aujourd'hui, c'est de la preuve scientifique, de la preuve par l'expert »

Cette perspective se montre dans la situation du laboratoire de police qu'il crée en 1910 à Lyon, non pas au sein de locaux de la police, mais à la cour de justice. En 1929, date du texte ci-dessus, il affirme la qualité de discipline nouvelle à la criminalistique, distincte de la médecine légale dont il est pourtant issu, et fonde avec quatre collègues (Prof Bischoff de l'Université de Lausanne, van Ledden Hülsebosch d'Amsterdam,



Figure 2 : Edmond Locard (1877-1966)



Figure 3 : Les fondateurs de l'Académie Internationale de Criminalistique, en 1929 à l'Institut de Police Scientifique de l'Université de Lausanne. De gauche à droite : Prof Marc A. Bischoff, prof Siegfried Türkel, C. J. van Ledden Hülsebosch , Prof G. Popp et Dr Edmond Locard

Popp de Francfort, Türkel de Vienne) l'Académie Internationale de Criminalistique à Lausanne. Locard s'oppose fermement à la terminologie « police scientifique » et lui préfère « police technique » ou « criminalistique ». Il fonde d'ailleurs une revue scientifique intitulée « Revue Internationale de Criminalistique » qui paraît de 1929 à 1938.

Parallèlement, en Suisse, Archibald Rodolphe Reiss, ami et élève de Bertillon, crée la première filière académique de police scientifique et fonde l'« Institut de Police scientifique » à l'Université de Lausanne en 1909 (premiers enseignements dès 1902). Malgré l'opposition de Locard au nom de « police scientifique » [9], Reiss et Locard collaboreront étroitement durant de nombreuses années, cette collaboration se poursuivra avec le successeur de Reiss, le professeur Bischoff, Locard participant à l'ouverture d'une filière « criminologie » en 1954 à Lausanne.



Figure 4 : Lors de la transformation de l'Institut de Police Scientifique en Institut de Police Scientifique et de Criminologie en 1954, le prof Thélin, médecine légale et criminologie, J. Mathyer qui deviendra professeur, directeur en 1963 et le prof Bischoff entourent Locard. © Institut de police scientifique.

Dès 1895, les pays germanophones, sous l'impulsion d'un juriste autrichien féru de science, Hans Gross, développent une discipline méthodologique d'investigation criminelle dans laquelle la trace matérielle et l'indice prennent un rôle prépondérant. Gross propose le nom de « *Kriminalistik* » à cette approche destinée aux magistrats instructeurs [10 ; 11], c'est probablement aussi l'origine du nom francisé préconisé par Locard. Gross fonde un Institut universitaire à Graz en 1913 et plusieurs scientifiques apportent leur contribution en Allemagne et en Autriche, depuis la chimie jusqu'à la psychiatrie, avec Freud.

Gross propose une vision novatrice de l'enquête criminelle axée sur une démarche scientifique et fondée sur des données fiables et matérielles. Il voit le potentiel stratégique et opérationnel de l'information qui découle des traces, préoccupations que

l'on retrouve aujourd'hui dans le renseignement criminel et l'analyse criminelle. Il ne se focalise donc pas sur l'identification des récidivistes, ni sur l'expertise bien que ces deux composantes appartiennent à la démarche méthodologique que Gross n'a pas le temps d'imposer avant sa mort en 1915. C'est alors que le conflit mondial se prépare et que leurs allégeances les séparent que Reiss reprend et préconise la création de données de police au sein d'un organisme international pour lutter contre la grande criminalité à Monaco en 1914 [12]. On y reconnaît le germe de ce qui deviendra Interpol en 1923 à Vienne.

2.2. Développements européens hétéroclites

Ce sont donc trois visions, policière, médicale et/ou expertale, et judiciaire qui définiront la place de l'indice dans l'investigation criminelle et comme moyen de preuve. Ces trois visions contrastées se retrouvent ancrées dans les structures diverses et parfois difficilement conciliables en ce début de XXI^{ème} siècle. C'est ainsi que les structures se sont rigidifiées autour d'un rôle de soutien policier et administratif sous forme de l'identité judiciaire séparée de laboratoires de police/gendarmerie (Pays latins, pays germaniques, Irlande, pays scandinaves, pays baltes et de nombreux pays d'Europe centrale ou de l'Est), mais au sein des organes policiers avec, aujourd'hui, en plus, des unités d'analyse criminelle associées aux nouvelles technologies. Certains pays présentent un service technique issu de l'identité judiciaire et un service d'analyse criminelle et de technologie de l'information au sein des organes policiers et un service expertal centralisé associé au ministère de la Justice (Belgique, Pays-Bas) alors que de nombreux pays d'Europe centrale et de l'Est voient

des laboratoires concurrents, l'un dépendant de la police, l'autre de la justice, garants de l'indépendance de la justice (Russie, Ukraine, Roumanie, Pologne) avec parfois une activité expertale universitaire comme en Serbie, en Roumanie ou en Pologne. La Suisse voit le développement de services techniques et scientifiques au sein de la police comme extension de l'identité judiciaire, un laboratoire de police de la Ville de Zürich et le maintien d'un Institut universitaire à Lausanne appelé par les organes judiciaires à intervenir en matière d'expertises. L'Angleterre présente une situation particulière en ce sens qu'il y avait jusqu'en 1991 un grand laboratoire de police à Londres (*Metropolitan Police Laboratory*) et des laboratoires du Home Office (département de l'Intérieur) destinés à l'expertise à travers le reste du pays. En 1991, ces structures ont été réunies au sein du Forensic Science Service, dissocié de la police au sein du ministère de l'Intérieur, comme Agence exécutive, pour finalement évoluer vers une compagnie gouvernementale (à 100% propriété de l'Etat) dès 2005, chargée d'administrer la preuve matérielle dans une démarche commerciale. De nombreuses compagnies privées se sont lancées sur ce marché, qui est, au début de 2010, en pleine restructuration. Parallèlement, de nombreuses Universités se sont lancées en Grande Bretagne sur le créneau de la formation et de l'expertise de manière effrénée ces dix dernières années.

Enfin, la richesse de l'information apportée par l'étude des traces contribue à d'autres activités qui ne sont pas exclusivement pénales, comme en matière de douanes, d'impôts, de dopage, de protection de la faune et de la flore, dans des services de lutte contre les contrefaçons dans les grandes industries, de litiges administratifs ou civils. Finalement, la trace apparaît comme ce témoin silencieux qui peut apporter du renseignement, de l'information ou des preuves dans des structures qui en revendiquent souvent un usage exclusif, se coupant ainsi de la richesse de cette ressource.

2.3. Evolution récente et influence des pays anglo-saxons

Après la Deuxième Guerre Mondiale, l'organisation des laboratoires de police en France (Lyon, Paris, Marseille, Toulouse, Lille) s'est fédérée sous l'appellation « Police technique et scientifique », la « PTS » française. Le nom de criminalistique en France, pourtant préconisé par Locard, ne sera donc pas adopté. En 1985 suite à l'affaire dite du Petit Grégory, un projet débouche en 1990 sur la création d'un laboratoire au sein de la Gendarmerie Nationale, l'Institut de recherches criminelles (IRCGN) qui s'organise initialement en sections de criminalistique (criminalistique I, II, III...). L'organe de contrôle des laboratoires nationaux prend le nom de « Conseil supérieur de la police technique et scientifique » (CSPTS). Parallèlement, certaines activités scientifiques sont développées au sein de laboratoires de médecine légale (toxicologie, sérologie puis génétique) ainsi que dans les laboratoires de la Préfecture de Police de Paris. L'identité judiciaire, quant à elle, reste un service de la Sous-direction de la PTS distincte des laboratoires.

Dès 2001 sept entités sont réunies dans un établissement public administratif sous le nom de INPS (Institut National de Police Scientifique) : il réunit outre les cinq laboratoires régionaux, le service central des laboratoires et le laboratoire de toxicologie de la Préfecture de police.

En 2009, la Gendarmerie Nationale est rattachée administrativement au Ministère de l'Intérieur et verra peut-être ces prochaines années un rapprochement sur le plan des laboratoires.

Il est apparent que l'identité judiciaire a une fonction investigatrice principale au sein de la police alors que les laboratoires deviennent des services d'expertise sans que les délimitations ne soient franchement marquées autrement que par l'organisation, les dimensions investigatrices et de renseignement n'étant pas clairement envisagées sur le plan structurel. Un certain manque de vision d'ensemble et surtout d'intégration méthodologique à créer une nouvelle fonction en France : le coordonnateur criminalistique [13 ; 14] qui cherche à développer et mettre en valeur l'apport de connaissances que la trace peut produire en matière judiciaire.

Malgré un consensus apparent en France autour de la terminologie PTS, la Belgique adopte la criminalistique pour son laboratoire national, qui prend pour nom l'« Institut national de criminalistique et de criminologie » (INCC) à Bruxelles, alors que la police développe l'identité judiciaire et l'analyse criminelle !

L'Italie quant à elle a fondé une « police scientifique » autour de l'anthropologie criminelle et des théories de Lombroso dont la validité a été mise en doute dès la fin du XIX^{ème} siècle. Cette vision a été totalement

abandonnée et les structures actuelles sont similaires à ce qui existe en France avec des laboratoires de la police nationale, de la Gendarmerie (*Carabinieri*) et de la police financière.

En Allemagne, les services techniques qui correspondent à l'identité judiciaire (KT ou *Kriminaltechnische Abteilung* – section de technique criminelle équivalent à l'identité judiciaire) sont intégrés dans les services des laboratoires qui, eux-mêmes, font partie des services de police criminelle. La structure fédérale implique une subdivision entre services régionaux (*Landeskriminalamt* ou, plutôt au pluriel, *Landeskriminalämter* ou LKA) et une structure fédérale (*Bundeskriminalamt* ou BKA) dont les compétences sont complémentaires.

Cette discussion montre un développement hétéroclite en Europe, autour de quelques personnalités dont le rayonnement s'estompera après la Deuxième Guerre Mondiale dans la mémoire de chaque institution, mais qui restera bien présente dans les fondements de l'organisation.

Cette guerre marquera d'ailleurs une période de stagnation relativement longue dans les pays latins et d'Europe centrale, marquée par quelques développements techniques sans lendemains méthodologiques et un patchwork non coordonné et non structuré souvent dans une vision accessoire de l'utilité de la trace purement policière ou purement expertale.

C'est au Royaume-Uni et aux Etats-Unis que les laboratoires se développent de manière spectaculaire autour des années 1950. Ils prennent le nom de « *forensic science* ». Aux Etats-Unis, les médecins légistes dominant souvent les rencontres et les organes de la toute nouvelle *American Academy of Forensic Science* (1947) (AAFS). Ainsi, Paul Kirk, qui crée un Institut au sein de l'Université de Californie, à Berkeley se verra rejeté de cette Académie qui, ironie de l'histoire, délivre depuis quelques années un prix Paul Kirk ! L'AAFS se subdivise donc en catégories de spécialités et retient le nom de « *criminalistics* » pour l'étude des traces matérielles, alors que la médecine légale se subdivise en « *forensic pathology* », « *forensic odontology* » « *medical jurisprudence* », etc. et le droit fait une entrée dans une section « *jurisprudence* ». Les développements et l'influence anglophones sont tels, durant 20 à 30 ans, que les publications importantes sont principalement, voire uniquement, dans la langue de Shakespeare.

Au Canada, la minorité francophone traduit « *forensic science* » par « sciences judiciaires », ce qui, pour les juristes, reflète des disciplines liées au fonctionnement judiciaire comme les procédures, et non des sciences « naturelles » utilisées à des fins judiciaires. Enfin, en 1984, Clément (de la PTS française) publie un livre intitulé « Sciences légales et police scientifique » [15] par analogie à la médecine « légale » mais qui introduit une confusion supplémentaire. Le droit est en effet la science légale par excellence, or le livre de Clément n'est en aucun cas un livre de droit et s'inspire en droite ligne du livre intitulé « *Chemical Criminalistics* » [16].

C'est ainsi que l'utilisation des sciences à des fins policières, investigatrices ou expertales se traduit au travers d'un vocabulaire variable, contesté ou inadapté et cela se retrouve et colle à la réalité de l'image diffuse qu'en ont les principaux organismes chargés d'appliquer et de développer ce domaine. En Suisse, l'option a été de reprendre le néologisme « forensique », y compris dans la Loi sur l'Université de Lausanne.

Dans le reste de l'Europe, l'Allemagne a vu un grand développement de ses laboratoires sous l'effet de la vague de terrorisme des années 1960 (*die rote Armee Fraktion, Baader & Meinhof*), suivie en cela par l'Italie, les pays scandinaves se sont développés sous l'impulsion du disciple de Locard, Harry Söderman [17], puis de Maehli et enfin de l'un des moteurs de l'ENFSI (voir plus bas), le professeur Ingvar Kopp. Depuis 1984 la France, également sous l'effet du terrorisme, a pris conscience du retard accumulé, suivi de la Belgique et des autres pays latins, ce qui a provoqué un vaste chantier de renouvellement.

3. Organe fédérateur et structurant : l'ENFSI – European Network of Forensic Science Institute

Le manque de vision cohérente et de méthodologie uniforme ont créé un besoin de partager les expériences et d'échanger. Cela se fera par la création d'un réseau fédérant les directeurs de laboratoires européens (*European Network of Forensic Science Institutes* – ENFSI – www.enfsi.eu) dont les germes sont apparus lors du IX^{ème} Symposium de police scientifique (forensic science symposium) d'Interpol à Lyon en 1992. Une dizaine de directeurs de laboratoires européens ont regretté l'absence de coordination, d'échanges, de recherche qui favorisent le développement, ainsi qu'un certain éloignement des préoccupations extra-européennes et, surtout, l'absence d'un forum régulier européen. Ces directeurs décident d'une rencontre et de la signature d'un protocole d'accord (Memorandum of Understanding - MOU) qui est officiellement signé le 20 octobre 1995 à Rijswijk aux Pays-Bas. Une constitution a été adoptée à Moscou en 1999.

Depuis 1994, l'ENFSI soutient plusieurs groupes de travail et de nombreux projets visant à augmenter la qualité des moyens scientifiques et techniques mis en œuvre dans l'investigation criminelle, ainsi que le développement de nouvelles méthodes et de technologie. Certains laboratoires faisant partie de départements de justice, d'autres de services de police, d'autres encore de départements de l'intérieur (Home Office), de la santé publique, de l'armée ou de l'instruction publique tous se retrouvent autour du vocable « *forensic* », mot qui existe dans toutes les langues qui nous sont proches du « *forense* » italien, espagnol ou portugais, au « *forensisch* » allemand, etc., sauf en français. C'est donc parfaitement consciemment que cette terminologie a été proposée en français dès 1986 à Lausanne où le cours de « police scientifique : méthodes d'investigation criminelle » a pris le nom de « science forensique : cours général », nom intégré dans les textes réglementaires de l'Université de Lausanne (Règlement de l'Institut de Police scientifique et de criminologie (IPSC) adopté par le Conseil d'Etat, 1990 ; Plan d'études de l'IPSC, 1990) [18].

Malgré un passage par l'anglais, l'introduction de « forensique » se justifie et regroupe l'activité de disciplines appliquées à l'investigation d'un objet particulier : le crime ou, dans un sens plus large, les litiges. Cette activité vise à résoudre ou répondre à des questions au service du monde judiciaire et des tribunaux en particulier. Ce néologisme recouvre un ensemble scientifique qui intègre les visions des pionniers, Bertillon, Locard, Reiss et Gross.

Il est par contre certain que la grande majorité des laboratoires intégrés à l'ENFSI est focalisée sur une vision expertale étroite où chaque secteur d'activité voit aujourd'hui des démarches lourdes de standardisation et de contrôles de qualité dans une vision compétitive et commerciale. En particulier les normes ISO 17025 (destinées aux laboratoires d'essais) et 17020 deviennent obligatoires pour tous les membres de l'ENFSI.

4. Conclusion

En 2010, 58 laboratoires de 33 pays forment l'ENFSI. La structure et la position de chacun de ces laboratoires est décrit et mis à jour en permanence sur le site web de l'ENFSI (www.enfsi.eu). L'ENFSI soutient les travaux de 16 groupes de travail allant alphabétiquement de l'ADN à la technologie d'information (ADN, analyse des accidents de la circulation, armes à feu, documents, écriture, empreintes digitales, explosifs, fibres, imagerie digitale, incendies et explosions, marques, parole et audio, peintures et verre, scènes de crime, stupéfiants, technologie de l'information). En outre, un comité permanent (QCC – Quality control and competence) développe la standardisation et le contrôle de qualité destinés aux laboratoires. Enfin, un comité académique (European Academy of Forensic Science – EAFS) vise à la diffusion de l'information et la mise en place de congrès ouverts pour favoriser l'échange d'information tous les trois ans depuis 1997 (fondation à Lausanne en 1997, puis Cracovie, 2000 ; Istambul 2003 ; Helsinki, 2006 et Glasgow 2009. Le prochain congrès se tiendra à Rijswijk en 2012.). L'organisation trisannuelle vise l'alternance avec un congrès mondial (IAFS – *International Association for Forensic Science* – Montpellier 2002 ; Hong-Kong 2005, Nouvelle Orléans 2008, Funchal Madeira 2011 – 19^{ème} Congrès IAFS) et un congrès de science

forensique d'Interpol (toujours à Lyon, 2001, 2004, 2007, 2010 – 16ème congrès Interpol). La vision purement expertale véhiculée par la plupart de ces structures est actuellement remise en question pour remettre la trace et les incertitudes qui lui sont liées au centre d'une approche méthodologique qui intègre le renseignement et l'enquête. Cependant, les tensions entre ces différentes visions sont loin d'être résolues avec la mise en place de structures rigides et subordonnées dans une majorité de pays ainsi qu'une mise en avant d'intérêts particuliers, réducteurs et sclérosants tels que perceptibles dans un rapport de l'Académie des sciences américaine en 2009 (19). Une vision plus méthodologique, holistique et scientifique est préconisée par de nombreux auteurs récents [20 ; 21 ; 22 ; 23] et le XXI^{ème} siècle promet des développements dont l'issue n'est pas encore évidente. Il est à prévoir que de grands changements interviennent ces prochaines années peut-être alimentés par les crises identitaires qui secouent actuellement (2010) les structures aux USA et en Grande-Bretagne.

5. Bibliographie

- 1) Locard E. *Policiers de roman et policiers de laboratoire*. Payot, Paris (1924) 279 p.
- 2) Lombroso C. *L'homme criminel*, 4ème édition italienne traduite édition. Félix Alcan, Paris (1887).
http://classiques.uqac.ca/classiques/lombroso_cesare/homme_criminel_1887/homme_criminel.pdf
- 3) Bertillon A. *Identification anthropométrique Instructions signalétiques*. Typographie-lithographie administrative, Melun (1885).
- 4) Sannié C. Alphonse Bertillon et la dactyloscopie. *L'affaire Scheffer*. *Revue internationale de police criminelle*. 1950 ; 5 (41) : 255-262.
- 5) Herschel W. *Skin Furrows of the Hand*. *Nature*. 1880 ; 23 (25 novembre) : 76.
- 6) Faulds H. *On the Skin-Furrows of the hand*. *Nature* 1880 ; 22 (28 octobre) : 605.
- 7) Bertillon A. *La photographie judiciaire, avec un appendice sur la classification et l'identification anthropométriques*, par Alphonse Bertillon,... Paris : Gauthier-Villars et fils, 1890 : 144p.
<http://194.254.96.52/main.php?key=ZnVsbHw3MDY3MXx8>
- 8) Locard E. *Revista espanola de criminologia y psiquiatra forense* (1929).
- 9) Locard E. *Chronique latine*. *Archives d'anthropologie criminelle, de médecine légale et de psychologie normale et pathologique*. 1912 ; 27 : 59 - 66.
https://criminocorpus.org/media/filer_public/2012/12/08/1912.pdf
- 10) Gross H. *Handbuch für Untersuchungsrichter als System der Kriminalistik*. Leuschner und Lubensky, Graz (1893).
- 11) Gross H. *Manuel pratique d'instruction judiciaire*, 2 édition. Marchal & Billard, Paris (1899).
- 12) Larnaude F. Roux J-A. *Premier congrès de police judiciaire internationale de Monaco* (1914). Ed. Paris, Marchal et Billard, G. Godde, succ, 1926.
- 13) Crispino F, Brault J, Burgueyre P. *Le coordonnateur en criminalistique: un nouvel acteur du renseignement criminel*. *Revue de la gendarmerie nationale*. 2009 ; 233 (4) : 6 - 15.
- 14) Schuliar Y. *La coordination scientifique dans les investigations criminelles. Proposition d'organisation. Aspect éthique ou de la nécessité d'un nouveau métier*. PhD thesis, Université de Paris Descartes et Université de Lausanne, Paris et Lausanne (2009).
http://www.unil.ch/esc/files/live/sites/esc/files/shared/These_Schuliar.pdf
- 15) Clément J-L. *Sciences légales et police scientifique*. Masson, Paris. 1987 : 296p. ISBN/ISSN/EA : 978-2-225-81005-3.
- 16) Maehly A, Strömberg L. *Chemical Criminalistics*. Springer Verlag, Berlin (1981).
<http://www.springer.com/us/book/9783642680632>
- 17) Margot P. Harry Söderman A great Pan-European Criminalist. *The fantastic life of Harry Söderman*, 2002.
- 18) Vaud C.D. *Loi sur l'Université de Lausanne*, vol. RS 414.11 (ed. L.G.C.d.C.d. Vaud). Canton de Vaud, Lausanne. (2004).
- 19) National Academy of Sciences. *National Research Council. Strengthening Forensic Science in the United States : A Path Forward*. National Academies Press, Washington, DC (2009) 328p.
<http://www.nap.edu/catalog/12589/strengthening-forensic-science-in-the-united-states-a-path-forward>
- 20) Kind SS. *The Scientific Investigation of Crime*. Forensic Science Services Ltd, Harrogate (1987).

21) Ribaux O, Walsh SJ, Margot P. The Contribution of Forensic Science to Crime Analysis and Investigation: Forensic Intelligence. *Forensic Science International*. 2006 ; 156 : 171-181.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379073805000484>

22) Ribaux O, Margot P. La trace matérielle, vecteur d'information au service du renseignement. In *Traité de sécurité intérieure. Collection sciences forensiques* eds. M. Cusson B. Dupont and F. Lemieux. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne. 2007 : 300-321.

23) Crispino F. Nature and Place of Crime Scene Management Within Forensic Sciences. *Science and Justice*. 2008 ; 48 : 24 - 28.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1355030607000974>

Chapitre 18. La preuve scientifique et l'intime conviction

M. Anzani

1. Introduction

L'expertise scientifique apporte une contribution précieuse et incontournable à la recherche de la vérité.

Le recours par le juge « aux hommes de l'art » est une nécessité qui s'impose d'autant plus que l'évolution des sciences et des techniques est de plus en plus grande ; le juge se voit ainsi dans l'obligation de recourir à un expert afin de l'éclairer sur des questions qui dépassent ses compétences.

Dans le domaine pénal, le recours à l'expertise revêt une importance particulière, le juge devant être éclairé sur des points techniques lors de la recherche des preuves de l'infraction.

C'est le moyen de découvrir et d'utiliser certains indices ou certaines preuves à l'aide de connaissances techniques particulières.

Dans notre droit, le juge décide de la culpabilité ou de la non culpabilité d'après son intime conviction, laquelle résulte de l'analyse de l'ensemble des preuves qui lui sont apportées contradictoirement lors du procès, dont les expertises font partie.

C'est ainsi que les experts sont fréquemment appelés à la barre, notamment, des cours d'assises, afin d'expliquer leurs travaux et de permettre au juge « de se faire son intime conviction », c'est-à-dire se faire une opinion sur la pertinence, la force persuasive des preuves.

2. Historique

Comment l'intime conviction est-elle apparue dans notre système judiciaire ?

Selon le système dit « des preuves légales » né au Bas-Empire Romain et maintenu dans notre ancien droit, la force probante d'une preuve était strictement tarifée de sorte que, si elle était rapportée, le juge était tenu de condamner, sa conviction serait-elle contraire. Le juge était comme un clavier qui répond nécessairement toujours de la même façon lorsqu'on frappe certaines touches.

- Les preuves « pleines » entraînaient condamnation (deux témoignages concordants, aveu judiciaire) ;
- Les preuves « semi-pleines » ne pouvaient entraîner condamnation à une peine ordinaire, mais autorisaient l'application de la question ou le prononcé d'une peine réduite (un seul témoignage, aveu extrajudiciaire) ;
- Les preuves imparfaites résultant de simples soupçons n'autorisaient pas la condamnation à une peine ordinaire, mais retiraient sa valeur à un acquittement.

Ce système s'expliquait en un temps où, la procédure étant inquisitoire, il servait de contrepoids à l'arbitraire et aux pouvoirs considérables du juge. Il supprimait cependant tout pouvoir d'appréciation du juge qui était, contraint, par exemple, de condamner en cas d'aveu obtenu par la torture, détruisant la notion même de délibération.

Le droit révolutionnaire, en même temps qu'il revenait à la procédure accusatoire, a aboli ce système pour le remplacer par celui de **l'intime conviction**, en vertu duquel le juge apprécie en toute liberté la preuve qui lui est soumise.

Le principe de l'intime conviction est aujourd'hui formulé dans l'avertissement solennel de l'article 353 du code de procédure pénale que lit aux jurés le président de la cour d'assises :

Article 353 du code de procédure pénale [1]

« La loi ne demande pas compte aux juges des moyens par lesquels ils se sont convaincus, elle ne leur prescrit pas de règles desquelles ils doivent faire particulièrement dépendre la plénitude et la suffisance d'une preuve ; elle leur prescrit de s'interroger eux-mêmes, dans le silence et le recueillement et de chercher, dans la sincérité de leur conscience, quelle impression ont faite, sur leur raison, les preuves rapportées contre l'accusé, et les moyens de sa défense. La loi ne leur fait que cette seule question, qui renferme toute la mesure de leurs devoirs : « Avez-vous une intime conviction ? » ».

Ce même principe est formulé pour le jugement des délits par l'article 427 ainsi rédigé :

Article 427 du code de procédure pénale [2]

« Hors les cas où la loi en dispose autrement, les infractions peuvent être établies par tout mode de preuve et le juge décide d'après son intime conviction.

Le juge ne peut fonder sa décision que sur des preuves qui lui sont apportées au cours des débats et contradictoirement discutées devant lui ».

3. Le principe de l'intime conviction

3.1. Application du principe

Le juge n'est tenu par aucune preuve. Les faits relèvent « *de son pouvoir souverain d'appréciation* » et sa conviction relève exclusivement de sa conscience, échappant de ce fait au contrôle de la Cour de cassation.

D'abord, et c'est le corollaire essentiel, il n'est pas lié par l'aveu qui « *comme tout élément de preuve est laissé à la libre appréciation des juges* » (art. 428 du code de procédure pénale). Le juge peut donc écarter un aveu suspect ou ne pas tenir compte de sa rétraction. Il peut aussi se passer de l'aveu et se satisfaire des déclarations des coprévenus lorsque celles-ci sont corroborées par d'autres éléments. L'aveu peut n'être retenu que partiellement. La révision d'une condamnation prononcée contre un prévenu qui avait avoué est possible.

Le juge peut apprécier la valeur des témoignages et choisir ceux qui lui semblent les plus sincères.

De même, le juge n'est nullement lié par les conclusions d'un rapport d'expertise, qui n'est qu'un élément de conviction parmi d'autres même si, en pratique, l'expertise pèse d'un poids de plus en plus considérable, dans le procès pénal.

3.2. Atténuations de l'intime conviction au principe

Elles sont de deux ordres et résultent de l'article 427 du code de procédure pénale qui prévoit :

- des exceptions légales au principe,
- des atténuations à ce principe.

3.2.1. Les exceptions légales au principe

Les exceptions légales concernent certains procès-verbaux pour lesquels le législateur a écarté le pouvoir d'appréciation des juges.

Ainsi, alors qu'il est de règle qu'un procès-verbal ou un rapport a valeur de simple renseignement et peut-être écarté en vertu de l'intime conviction, il existe des procès-verbaux faisant foi jusqu'à preuve contraire (c'est le cas des procès verbaux et rapports en matière de contraventions ou relatifs à certains délits constatés par des agents spéciaux, en matière fiscale ou de droit du travail par exemple).

De même, certains procès verbaux font foi jusqu'à inscription de faux (par exemple en matière douanière) et leurs énonciations s'imposent au juge sauf à prouver que l'agent est un faussaire.

3.2.2. Les atténuations au principe de l'intime conviction

Elles résultent de l'obligation pour le juge de respecter certaines règles de nature à garantir un procès équitable, à l'effet d'éviter que l'intime conviction ne se réduise à l'arbitraire.

Ces règles sont de trois ordres :

- Le juge est tenu de motiver sa décision à peine de nullité (art. 593 du CPP). Toutefois, les décisions de la cour d'assises ne sont pas motivées en droit français. La Cour de cassation considère que « l'ensemble des réponses, reprises dans l'arrêt de condamnation, qu'en leur intime conviction, magistrats et jurés ont donné aux questions posées conformément à l'arrêt de renvoi tient lieu de motif aux arrêts de la Cour d'assises statuant sur l'action publique ». (Crim.30 avril 1996 B. 181). Nous y reviendrons plus loin.
- Le silence, auquel l'accusé a droit, ne saurait déterminer le juge à en tirer systématiquement des conséquences défavorables pour l'accusé.
- Les preuves doivent avoir été recueillies par l'accusation dans le respect des droits de la défense et du principe du contradictoire.

Toutefois les juges ne peuvent rejeter un moyen de preuve produit par les parties au seul motif qu'il aurait été obtenu illicitement ou déloyalement. Ils doivent seulement en apprécier la force probante.

De même, le respect des droits de la défense interdit au juge de se fonder uniquement sur des témoignages anonymes pour prononcer une condamnation (art. 706-62 du code de procédure pénale).

4. Les applications pratiques de l'intime conviction

4.1. Au stade de l'instruction préparatoire

Bien qu'il ne s'agisse pas de l'appréciation de la preuve proprement dite, qui doit emporter la conviction intime du tribunal c'est-à-dire faire naître sa certitude, au stade du jugement, la loi a prévu, au stade de l'enquête policière et de l'instruction, des pouvoirs d'appréciation qui s'en rapprochent ;

Si la présomption d'innocence signifie qu'il appartient au ministère public de prouver la culpabilité, le rôle du juge d'instruction est de rassembler des indices.

C'est ainsi qu'il faut des « *indices faisant présumer qu'une infraction a été commise* », pour placer en garde à vue une personne lors d'une enquête préliminaire ou de flagrance.

De même, le juge d'instruction ne peut mettre en examen une personne que s'il existe à son encontre des indices « *graves ou concordants rendant vraisemblable qu'elle ait pu participer* » à l'infraction (art. 80-1).

Enfin, à l'issue de l'information, le juge examine s'il existe des « charges constitutives d'infraction » (art. 176), afin d'apprécier l'opportunité de rendre une ordonnance de non-lieu ou de renvoi devant la juridiction de jugement.

Il convient de souligner qu'en matière criminelle, la lecture de l'arrêt de mise en accusation est précieuse pour apprécier les éléments qui seront de nature à entraîner la conviction de la cour d'assises.

Ainsi il apparaît indéniable que l'intime conviction du juge se forge à partir des éléments apportés par l'enquête préliminaire ou par l'instruction.

Parmi ces éléments, l'expertise joue un rôle de plus en plus important dans la recherche de la preuve dès le stade de l'instruction préparatoire (c'est ainsi qu'à titre d'exemple, dès le placement en garde à vue d'une personne, les analyses de profils génétiques peuvent apparaître déterminantes dans l'analyse des charges).

4.2. L'intime conviction et l'expertise

La preuve scientifique est donc appelée à prendre une place de plus en plus grande parmi les moyens de preuves utilisés pour rechercher la vérité.

On constate en effet un développement important des techniques de police scientifique et de médecine légale au cours de ces dernières années et il appartient au juge d'apprécier avec la plus grande prudence l'admissibilité d'un tel moyen de preuve ou du témoignage des experts.

Le rapport de l'expert doit être en mesure d'aider le tribunal à aboutir à une conclusion, sans outrepasser son rôle.

4.2.1. Difficultés d'interprétation de la preuve scientifique

Dans un article paru dans la revue *Médecine et Droit*, Messieurs Taroni et Mangin ont mis le doigt sur les difficultés d'interprétation de la preuve scientifique apportée par les experts commis, par le juge [3].

C'est ainsi qu'ils donnent cinq exemples concrets :

- Certains experts, dans le domaine des empreintes digitales, des traces d'outils, des traces de pas, ou des fibres textiles et des cheveux, donnent des conclusions catégoriques sur le fait que la trace ou l'empreinte retrouvée et l'élément de comparaison (appartenant à la victime ou à un suspect) proviennent de la même source.
- Les témoignages des experts concernant la présence de traces de verre, de fibres textiles et de cheveux, affirment uniquement qu'un échantillon pourrait provenir d'une certaine source ou que les échantillons partagent entre eux certaines caractéristiques analytiques. Parfois, les experts présentent à la cour un semblant de statistique focalisée sur la seule fréquence d'un type de trace dans une population de référence.
- Certains types de traces, comme les traces d'origine biologique, sont associés à des argumentations statistiques complexes qui peuvent être mal interprétées et faussement comprises par la cour, ou manipulées à tort par les experts qui donnent une conclusion fallacieuse ou simpliste.
- Les juristes (juges, magistrats et avocats) sont souvent en difficulté, car ils essaient d'éviter l'utilisation de probabilités dans l'étape interprétative de la valeur probante d'une trace en lui associant des termes provoquant des ambiguïtés. Ils acceptent également les témoignages d'experts qui outrepassent leur rôle de « preneur de décision ».
- Les juristes éprouvent également des difficultés quand ils doivent présenter les calculs faits par des experts dans le texte de leurs décisions ou quand ils doivent évaluer le bien-fondé de la stratégie de la défense ou de l'accusation.

Selon les mêmes auteurs :

Statistique et éléments incertains

« Il est important de souligner que toute trace ou empreinte sous-tend la notion d'évaluation statistique avec le risque de fausses interprétations de leur valeur probante. Des procédures appropriées d'interprétations, qui assistent les juristes et les scientifiques, devraient être ainsi proposées et appliquées afin de faciliter la communication entre le monde juridique et scientifique et d'éviter les pièges dus à l'intuition. De telles

procédures permettraient alors d'aboutir à une interprétation correcte de la preuve scientifique en particulier et de tout événement incertain en général ».

Dans un article paru dans la gazette du Palais (23-24 juillet 1999) sous le titre « Preuve scientifique et preuve juridique : y a-t-il un paradoxe de l'expert ? », il est intéressant de relever les observations suivantes de l'auteur, lui-même expert judiciaire [4] :

Preuve scientifique et preuve juridique

« L'expert est amené le plus souvent à expliquer, à motiver, c'est-à-dire à exposer comment il a recherché les faits, les faits derrière les faits, les causes derrière les faits. On sent bien que cette recherche s'apparente à la démarche intellectuelle du scientifique qui tâtonne, argumente et démontre, que, ce faisant, l'expert participe par conséquent à la conviction du juge qui le lira (bien que ce dernier ne soit pas lié par l'avis de l'expert). »

« Prouver, avons-nous dit sous diverses formes, c'est établir, à partir d'un « objet-preuve » (un objet matériel, un fait nouveau, une autre proposition réputée déjà prouvée) et par un raisonnement (parfois implicite), la vérité d'une proposition.

« Nous avons par ailleurs beaucoup parlé de convaincre. Certes, convaincre n'est pas toujours prouver. On peut tenter, par exemple, de convaincre son voisin que voter X sera meilleur pour le pays que voter Y, mais c'est là une opinion, pas une proposition. En revanche, établir la vérité d'une proposition c'est, pensons-nous, toujours convaincre. Mais convaincre qui ? N'y a-t-il pas toujours, demandions-nous plus haut, un « tribunal » défini et limité qui décidera que la preuve fournit la démonstration de la réalité du fait, de l'état ou de la circonstance ? Nous avons promis d'y revenir. Nous le faisons pour répondre : oui- et c'est ce « tribunal » qu'il faut convaincre ».

« Ce « tribunal » une fois convaincu, ce que ce dernier fera de sa conviction est autre chose et, quant au « prouveur », sa tâche s'arrête là. Il a dit sa proposition, il l'a autant que faire se peut, prouvée (au sens de la démarche scientifique), mais la suite lui échappe.

« Or suite il y a. C'est particulièrement clair au pénal. Tous les experts du monde auraient-ils prouvé que la balle a bien été tirée par X, que ce dernier avait proféré des menaces de mort écrites, qu'au moment du crime une rage meurtrière se lisait dans ses yeux, qu'au demeurant il n'était pas fou... auraient-ils convaincu de tout cela, reste que quelqu'un d'autre jugera les conséquences à en tirer.

« Les experts n'auront, au mieux, prouvé que les faits et les causes. Les jurés, les juges, s'ils ont décidé que ceux-ci sont établis, ont de nouvelles décisions à prendre : sur la culpabilité et sur la peine.

« Qu'il y ait parfois confusion entre ce qui devrait constituer deux étapes séparées (décider si les faits sont prouvés ; décider de la culpabilité et de la peine) est possible.

« En tout état de cause le « tribunal », à partir de ce qu'il a admis pour vrai des faits et des causes, reprenant la démarche là où les experts l'avaient laissée, incorporant de nouvelles considérations (l'intention, la psychologie et bien sûr le droit), suivra sans doute lui aussi une démarche faite d'hypothèses, de déductions, de retours en arrière et aboutira enfin à se forger sa conviction. Quelle soit « intime » pour les jurés, qu'elle doive être motivée en telle autre instance ne change rien, pensons-nous à la démarche ».

Nous ne pouvons qu'adhérer à cette analyse.

4.2.2. L'esprit critique doit demeurer à l'égard de la preuve scientifique

Les querelles d'experts et leur médiatisation, trop fréquentes, amènent les juges à faire preuve de la plus grande circonspection et ont pour résultat d'atténuer de façon notable l'effet probatoire du travail accompli.

C'est ainsi que l'on peut lire :

Médiatisation des querelles d'experts

« Les querelles d'experts font rage » (le Monde 23 sept. 2004) « Un désaveu cinglant pour les deux légistes » (le Monde 24 sept. 2004).

« Les experts sollicités par le juge d'instruction n'ont pas aidé à faire la lumière, en s'opposant sur la réalité de la blessure... » (Le Monde 4 oct. 2004).

« Les experts sollicités par la justice pour mettre leurs compétences au service de la vérité portent aussi la responsabilité de lourdes erreurs... Et cela d'autant plus facilement que la conviction des magistrats est, alors étayée, par des « preuves » scientifique » (L'Express 31 mai 2004).

Ainsi l'esprit critique doit demeurer à l'égard de la preuve scientifique susceptible d'être apportée par l'expertise.

La qualité intrinsèque de l'expertise dépendra de nombreux facteurs :

- La compétence et la déontologie de l'expert, d'où l'importance du choix du spécialiste ;
- La fiabilité des questions posées à l'expert et des réponses qu'il apporte dans l'appréciation de la preuve.

A titre d'exemple, une expertise toxicologique pourra apporter des probabilités de compatibilité entre deux produits dont l'un est démontré présent dans l'organisme d'une victime et l'autre retrouvé auprès d'elle mais pas nécessairement la preuve certaine d'un acte d'empoisonnement.

Ainsi, dans *l'affaire de la josacine* empoisonnée par du cyanure ayant entraîné la mort d'une fillette, les experts commis par le juge d'instruction pour comparer la composition du cyanure de sodium prélevé dans le flacon d'antibiotique avec les cyanures fournis par le laboratoire Prolabo, sont restés dans leur rôle en se bornant à conclure sur la compatibilité des caractéristiques des produits examinés sans affirmer que celui présent dans la josacine provenait du kilo de cyanure acheté par la personne soupçonnée.

Un autre exemple de la nécessité d'une très grande prudence concerne la question de l'heure de la mort et la fiabilité des différentes méthodes d'analyse et d'investigations ainsi que l'évolution des méthodes.

A titre d'exemple, il est apparu que l'expert qui avait procédé en 1991 à l'autopsie d'une victime découverte est revenu en 2005 sur ses conclusions de l'époque au motif que l'analyse de l'humeur vitrée à laquelle il avait été procédé, n'était plus actuellement considérée comme fiable.

L'expertise en comparaison d'écriture, pourtant très fréquemment utilisée, ne saurait apporter de preuve formelle. De nombreux exemples illustrent l'extrême prudence qu'il convient de garder à l'égard de ce type d'expertise. Les querelles d'experts fréquentes dans ce domaine démontrent la relativité de l'apport de ce type de preuve.

Il suffit de se référer, pour n'en citer que les plus connues, à *l'affaire Dreyfus* (concernant l'analyse du fameux « bordereau »...), *l'affaire Seznec* (concernant la promesse de vente signée entre Seznec et Quémeur et l'analyse tant des mentions manuscrites que les mentions dactylographiques figurant sur le document. Il a fallu une expertise collégiale de cinq experts pour départager les « expertises privées » contradictoires réalisées à la demande des parties) dans *l'affaire Omar Raddad* (concernant la mention « Omar m'a tuer »).

4.2.3. Le juge doit maîtriser tous les modes de preuves, y compris la preuve scientifique

Il doit faire preuve d'une vigilance encore accrue compte tenue de la réforme (résultant de la loi du 9 mars 2004) qui accorde une plus grande latitude aux experts pour entendre les parties ([article 164](#) du code de procédure pénale) en l'absence du juge d'instruction alors qu'au surplus l'expertise n'est pas contradictoire en matière pénale.

De même, la possibilité pour les experts de communiquer directement leurs conclusions aux enquêteurs (article 166, dernier alinéa du code de procédure pénale) présente le risque de générer une pratique consistant pour le juge à déléguer à l'expert, des fonctions de contrôle qu'il lui appartient d'exercer.

Il est significatif de noter que la circulaire d'application de la loi du 9 mars 2004 énonce : « les expertises jouent dans le procès pénal un rôle essentiel ».

Une telle formule doit être, à mon sens, relativisée.

Le juge ne doit pas faire reposer sur l'expert les responsabilités qui lui incombent personnellement dans la recherche de la vérité. Il doit faire un tri de toutes les données qui lui sont apportées au cours de l'instruction du dossier.

De même l'évolution de la science entraîne la nécessité de porter un regard prudent sur les conclusions d'un expert à un moment donné.

C'est ainsi que, dans le cadre de la procédure de révision des condamnations pénales, des demandes peuvent être fondées sur des travaux scientifiques remettant en cause les connaissances antérieures ou faisant appel à des technologies nouvelles permettant des investigations plus poussées et plus fiables. (Les exemples concernent, notamment, les identifications génétiques, les analyses chimiques, les recherches de traces, les comparaisons de documents).

Témoignant de ce type de réexamen, plus de sept années après la condamnation de **Marc Machin** pour meurtre commis en 2001, un individu s'est présenté pour s'accuser de ce meurtre et l'empreinte génétique de ce dernier a été identifiée sur les prélèvements qui avaient été réalisés sur la victime et qui, heureusement, avaient été conservées par le laboratoire saisi à l'époque des faits. Les méthodes d'analyse des profils génétiques ont évolué d'une telle façon qu'en 2001 on n'aurait pas pu procéder à l'identification réalisée en 2008.

4.2.4. *L'intime conviction évolue-t-elle au gré des progrès de la science ?*

Il est, de fait, qu'à l'heure actuelle, la preuve par les empreintes génétiques, par exemple, submerge le procès pénal.

Faut-il s'en réjouir ? La plus grande prudence s'impose et on ne saurait trop répéter qu'il s'agit d'un mode de preuve parmi d'autres dont la fiabilité dépend de beaucoup de facteurs (qualité des prélèvements, compétence du personnel scientifique pour l'interprétation des résultats). Comme le fait remarquer M. GALLOUX dans un article intitulé : « l'empreinte génétique : la preuve parfaite? » [5], « la mise en œuvre du procédé et plus encore l'interprétation des résultats exigent une grande habitude et une haute spécialisation ».

Et de conclure :

Valeur probante de l'empreinte génétique

« A priori les indices recueillis grâce à l'expertise génétique sont admissibles dans toute instance pénale. **La valeur probante de l'empreinte génétique se mesure à l'aune de l'intime conviction des juges auxquels elle sera soumise dès qu'elle aura été régulièrement versée aux débats.** Le juge n'est pas lié par le résultat d'une expertise et l'empreinte génétique n'y fait pas exception. Il pourra donc théoriquement écarter cette preuve, lui préférant d'autres éléments ; mais cette hypothèse paraît tout aussi improbable que la conviction de la culpabilité basée sur ce seul indice pris isolément. Une preuve aussi décisive qu'elle soit, doit s'apprécier au regard des différents éléments apportés par l'enquête. **Les tribunaux correctionnels et de police doivent motiver leurs décisions en justifiant leur démarche et en précisant les éléments de fait sur lesquels ils ont fondé leur conviction,** afin que le contrôle de la Cour de cassation puisse s'exercer.

L'empreinte génétique devrait donc apparaître dans les prétoires, comme une « **preuve ordinaire** » : sans doute peut-on craindre qu'elle emporte, dans les affaires criminelles, plus aisément la conviction des jurés populaires, réputés plus sensibles à l'autorité de la science... »

A l'appui de cette exigence de prudence, on peut citer l'exemple suivant :

Accusé par un mégot

« - Bataille judiciaire pour une empreinte ADN : Nordine Mansouri, fiché au grand banditisme est soupçonné d'un crime vieux de seize ans commis en 1992 à St Quentin. Un laboratoire révèle un code génétique masculin sur une cigarette à demi consommée retrouvée chez les victimes. Cette signature ADN comparée avec les quelques 938.000 profils du fichier national, correspond à celui de Nordine MANSOURI. Celui-ci a beau protester de son innocence, il est mis en examen en mai dernier (...) Mansouri avait déjà été mis en cause dans des conditions similaires (avec un mégot en guise de preuve) après un braquage commis en 1996 avant d'être blanchi par la justice... Dans l'affaire de St Quentin, la défense s'étonne également des conditions de manipulation des prélèvements » (l'Express 30 oct. 2008).

4.2.5. L'absence de motivation des arrêts de la cour d'assises et l'intime conviction

La Cour de cassation contrôle les motifs retenus dans les décisions du juge correctionnel pour « *se dire intimement convaincu* » de la culpabilité du prévenu (crim. 22.5- 1971 B 153), ou pour, « par des motifs exempts d'insuffisance et de contradictions caractérisés en tous ses éléments le délit (...) dont elle a déclaré le prévenu coupable » (Crim. 17 octobre 1995 N°94.83543).

En revanche, la cour d'assises, comme le fait remarquer justement J. Buisson (manuel de procédure pénale p 463 [6]), obéit à une exception dans le domaine selon laquelle « *la loi ne demande pas compte aux juges des moyens par lesquels ils se sont convaincus... (Elle) ne leur fait que cette seule question : avez-vous une intime conviction ?* » (CPP, art.353 [1]).

Nous partageons l'avis de cet auteur qui évoque « *l'illogisme de notre droit qui prive de toute motivation les décisions rendues pour les infractions les plus graves, la conventionalité de cette exception apparaissant contestable au regard de la présomption d'innocence édictée à l'article 6, §2, de la Convention et du protocole n°7 ratifié par la France, lequel implique également que la décision judiciaire examinée par la juridiction supérieure soit motivée* ».

La Cour européenne des droits de l'homme a eu l'occasion de souligner que la motivation entre dans la notion de procès équitable.

De même, Vincent Lesclous, magistrat, note à propos des empreintes génétique dans un article de La documentation française [7], « l'intime conviction n'est que le moyen de permettre à la raison de s'exprimer librement et ne saurait être comprise comme cautionnant l'arbitraire des juges. *Dès lors ce système s'accommode parfaitement de l'obligation de motiver les décisions, on peut même dire qu'il l'appelle* ».

Les inconvénients de l'absence de motivation des arrêts de cour d'assises revêtent de plus en plus l'actualité pour deux raisons principales :

- la procédure de révision des condamnations pénales est tributaire de la procédure antérieure et l'examen des demandes fondées sur « un fait nouveau inconnu de la juridiction au jour du procès qui serait de nature à faire naître un doute sur la culpabilité du condamné » (article 622-4° du code de procédure pénale), implique de savoir quels sont les éléments de preuve qui ont entraîné la conviction de la cour d'Assises ;
- En second lieu, le double degré de juridiction instauré depuis le 1er janvier 2001 en matière criminelle rend incompréhensible la lisibilité des arrêts, notamment lorsque la cour d'assises d'appel prend une décision contraire en condamnant un accusé qui avait été acquitté par la première cour d'assises ; Comment le bénéfice du doute a-t-il pu faire place à l'intime conviction de la culpabilité ?

Certes, il est des domaines où l'intime conviction du juge joue un rôle prépondérant. Tel est le cas des infractions sexuelles familiales dont les victimes sont des mineures, et pour lesquelles les preuves objectives ou matérielles sont souvent inexistantes et l'appréciation de la valeur du témoignage est primordiale.

C'est une raison supplémentaire pour que l'intime conviction ne reste pas auréolée d'un mystère.

5. Conclusion

« La force de la preuve réside dans l'accueil que lui fait celui à qui elle est destinée ».

« L'étendue de l'obligation de prouver dépend donc de l'étendue de la contestation » (Alain Plantey - Académie des sciences morales et politiques [8]).

Le professeur Robert Vouin écrivait : « le juge et son expert font un couple mal assorti que divise la différence des points de vue et des langues » [9].

Toutefois, s'il y a bien séparation des rôles, il y a une interaction entre la démarche du scientifique et celle du juge, le premier apportant des propositions et le second décidant des conséquences à en tirer.

Ainsi, l'expert participe à la conviction du juge qui le lira, même s'il n'est pas lié par l'avis de cet expert et l'on peut dire que, cette alchimie, qui implique à la fois une confiance et une exigence réciproques, est destinée à permettre à la justice finale d'approcher « en son âme et conscience », le plus près possible, de la vérité.

6. Bibliographie

1) Article 353 du code de procédure pénale Modifié par LOI n°2011-939 du 10 août 2011 - art. 12.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006576293&cidTexte=LEGITEXT000006071154>

2) Article 427 du code de procédure pénale (... de l'administration de la preuve) Modifié par Loi 93-1013 1993-08-24 art. 28 JORF 25 août 1993 en vigueur le 2 septembre 1993.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006576544&cidTexte=LEGITEXT000006071154>

3) Franco Taroni, Patrice Mangin L'interprétation de la preuve scientifique : Les juristes, les scientifiques et les probabilités Médecine & Droit Volume 1998, Issue 30, May-June 1998, Pages 6-15.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1246739198802844>

4) Gordon P. Preuve scientifique et preuve juridique : y a-t-il un "paradoxe de l'expert" ?, Gazette du Palais, 24 juillet 1999, p. 1081-1086.

<https://criminocorpus.org/bibliographie/ouvrages/124567/>

5) Galloux J-C. "L'empreinte génétique : la preuve parfaite ?", La Semaine Juridique. 1991 ; 12 (1) : 104-110.

6) Guinchard S, Buisson J, Manuel de Procédure pénale, 8^e éd. Paris, LexisNexis, Litec, 2012, 1098 p.

7) Vincent Lesclous : Empreintes génétiques et procédures pénales in « Les empreintes génétiques en pratique judiciaire », Documentation française 1998, p. 114.

8) Plantey A. Préface publié dans La preuve Catherine Puigelier (dir.), Economica, 2004 : p1.

9) Robert Vouin, Le juge et son expert, D. 1955, p. 133.

Notes techniques ou pratiques simplifiées

1. Prélèvement de cheveux en vue d'analyse toxicologique

L'usage des cheveux est de plus en plus fréquent en toxicologie médico-légale car leur analyse permet de suivre la consommation ou l'exposition d'un individu à des xénobiotiques durant des semaines voire des mois. Les cheveux se révèlent donc indispensables lorsque les prélèvements de sang ou d'urine sont tardifs grâce à une fenêtre de détection beaucoup plus large que ces deux prélèvements. De plus, ils permettent de distinguer une consommation chronique d'une consommation ponctuelle. Ils sont ainsi souvent utilisés lors de suspicions de soumission chimique, d'infraction à la législation sur les stupéfiants ou pour contrôler un sevrage thérapeutique.

1.1. Mode opératoire

Avant toute chose, il est nécessaire de noter les informations relatives à l'enquête, notamment la date des faits et la consommation éventuelle de xénobiotiques par le sujet prélevé (stupéfiants, médicaments, date de consommation...) mais aussi des informations sur les cheveux prélevés : ont-ils subi des traitements de type coloration, décoloration, permanente... ? Ces traitements peuvent détruire en partie les xénobiotiques contenus dans le cheveu. A ce stade, une explication du déroulement des opérations est faite au sujet prélevé.

Aucune procédure de prélèvement n'est actuellement standardisée. Néanmoins, il est préférable de collecter des cheveux du vertex (à l'arrière de la tête) car dans cette zone ils poussent plus régulièrement et le cuir chevelu est le mieux vascularisé, donc la meilleure zone d'échange du capillaire avec le sang.



Le nombre de mèches de cheveux prélevés dépend des analyses à effectuer : il en faudra ainsi davantage pour une recherche de stupéfiants et sédatifs que pour une recherche de stupéfiants uniquement. Il faut prévoir dans tous les cas une mèche à conserver en vue d'une éventuelle contre-expertise. Pour une analyse exhaustive, quatre mèches constituent un prélèvement idéal.

Si la personne porte les cheveux longs, il faut les lui relever afin de pouvoir atteindre la base de ceux du vertex postérieur.

Les cheveux sont alors regroupés pour former une mèche : cette dernière doit être de taille suffisante, en général de la taille d'un crayon, ce qui forme un cercle d'environ 3 mm de diamètre. La mèche est liée à sa base, du côté du cuir chevelu, par un lien fin de couleur afin de pouvoir distinguer la racine de la pointe des cheveux.

Les cheveux sont coupés à l'aide de ciseaux au plus près possible du cuir chevelu.

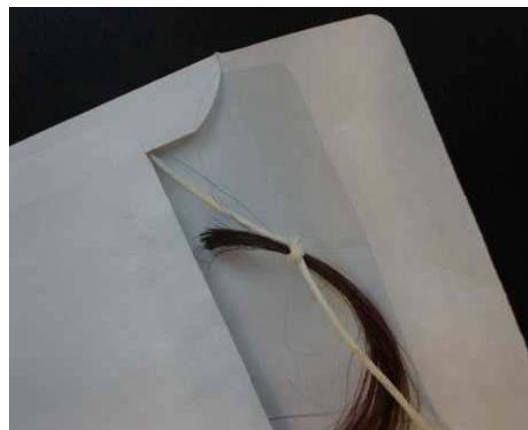
Chaque mèche obtenue est placée dans une enveloppe.

Ces étapes sont recommencées afin d'obtenir le nombre de mèches voulu.

Les trous dus aux prélèvements capillaires sont en général cachés lorsque les cheveux sont relâchés.

Sur les enveloppes sont apposées les signatures de la personne prélevée, de la personne qui a prélevé et de l'officier de police judiciaire. Ces enveloppes sont alors mises sous scellé.

Les scellés contenant des cheveux ou poils doivent être conservés à température ambiante.



1.2. Analyse

Avant de commencer l'analyse, le scellé est décrit (photographié ou scanné, mesuré ...) puis ouvert. La mèche qu'il contient est également décrite (couleur, longueur, poids...). Cette dernière est ensuite cousue sur du papier en ligne droite, la racine et la pointe étant indiquées.

La mèche est alors divisée en tronçons d'une longueur définie afin de pouvoir effectuer une datation aussi précise que possible. En moyenne, les cheveux poussent d'un centimètre par mois. Ainsi, si les faits remontent à deux mois, les produits absorbés au moment des faits doivent être retrouvés à environ deux centimètres du cuir chevelu.



Chaque tronçon est alors placé dans un tube pour y être lavé afin d'éliminer des cheveux, tout produit ayant pu s'y déposer. Les différents liquides de lavage sont évaporés et conservés en vue d'une éventuelle analyse. Ceci permet de vérifier qu'un résultat positif n'est pas dû à une contamination externe importante.

Après avoir été décontaminés et séchés, les tronçons sont pulvérisés au moyen d'un système mécanique adapté (broyeur à boulets) ou découpés finement au ciseau.

Chaque tronçon est pesé.

Commence alors une étape de destruction lytique du cheveu qui permet de dissoudre les molécules qu'il contient. Le réactif utilisé pour cette opération est un solvant ou un mélange. Il est ré-

cupéré après centrifugation du tube contenant les cheveux, et les molécules sont extraites. Tout type d'extraction habituel peut être employé : extraction liquide-liquide ou sur phase solide.

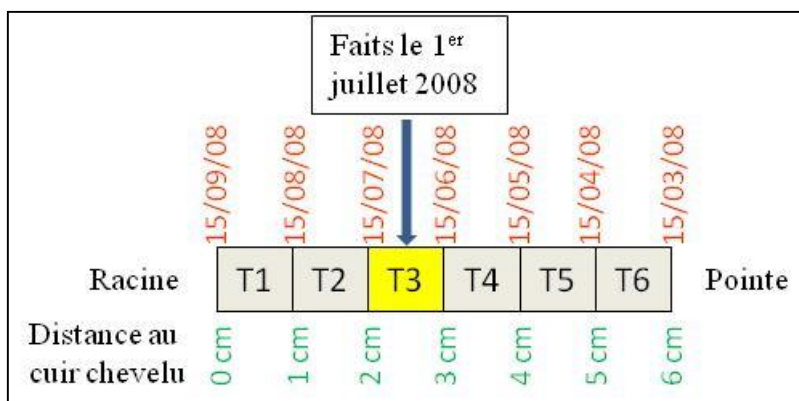
Après centrifugation et récupération des liquides d'extraction, ces derniers sont évaporés et l'extrait sec est repris par un solvant approprié afin d'être analysé. Cette analyse est généralement faite par chromatographie gazeuse ou liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem ou MSⁿ.



1.3. Exploitation des résultats

L'analyse des chromatogrammes et des spectres obtenus met en évidence, ou non, la présence d'une molécule dans un tronçon donné. Connaissant la taille et l'emplacement du tronçon par rapport au cuir chevelu, il est possible d'estimer la date de consommation du produit.

Prenons un exemple : une jeune fille pense s'être faite violée après avoir été droguée le 1^{er} juillet. Le prélèvement capillaire a été effectué le 15 septembre, soit deux mois et demi après les faits. Il a été trouvé une benzodiazépine dans un tronçon d'un centimètre situé à deux centimètres du cuir chevelu. Ce tronçon correspond donc à la période du 15 juin au 15 juillet et inclut ainsi la date des faits.



2. Xénobiotique : médicaments, toxiques

Le terme de xénobiotiques désigne communément toute substance étrangère à l'organisme que ce soit un médicament, un stupéfiant et tout autre substance toxique ou non. Ils peuvent exister sous différentes formes. De ces formes va dépendre la voie d'administration dans l'organisme.

- **Des barrières naturelles**

La peau, le poumon et le tractus digestif sont les principales barrières séparant l'organisme des xénobiotiques qui devront alors les traverser pour produire un quelconque effet toxique au niveau de l'organisme, à l'exception toutefois des toxiques topiques (acides forts et bases fortes.)

Dans certains cas les toxiques ne subissent pas de phénomène d'absorption, c'est notamment le cas quand ils sont administrés par le biais d'une injection intraveineuse, intramusculaire et sous cutanée.

- **Les toxiques atteignent leur organe cible par l'intermédiaire de la circulation sanguine, les substances doivent donc d'abord parvenir jusqu'au sang.**

Différents sites d'entrée sont possibles au niveau de l'organisme.

- **La molécule peut être injectée par voie intraveineuse**, dans ce cas elle passe immédiatement dans le sang alors que dans le cas d'une injection sous-cutanée ou intramusculaire elle devra avant diffuser du site d'injection vers le sang.

Ces modes d'administration se rencontrent essentiellement dans les cas de toxicomanies et en médecine d'urgence.



- **Le premier contact entre un toxique et l'organisme se fait le plus souvent au niveau d'une muqueuse** (digestive, buccale, rectale, respiratoire, tout le tube digestif de la bouche à l'anus, tout l'appareil respiratoire ainsi que les zones uro-génitales sont tapissés de muqueuses) : L'absorption d'un toxique peut donc s'effectuer n'importe où entre la bouche et le rectum.

L'administration orale est la voie la plus fréquemment employée, le passage des molécules dans le sang s'effectuant ensuite au niveau de la muqueuse digestive. Cette voie a pour conséquence pour la substance de devoir traverser obligatoirement le foie avant d'aboutir dans la circulation générale.

La voie percutanée : certaines substances peuvent pénétrer directement au niveau de la muqueuse cutanée, dans ce cas la substance va diffuser lentement, traverser la peau et aboutir dans la circulation sanguine. La voie percutanée donne plus rarement lieu à des intoxications. Toutefois de grandes surfaces enduites de certains xénobiotiques ou en contact avec des toxiques de petite taille moléculaire (As...) ou lors du mésusage de patchs transdermiques peuvent induire le passage de quantités importantes de toxiques.

Par voie rectale, seule une partie des molécules passera par le foie avant d'aboutir à la circulation générale car les veines de l'extrémité du rectum permettent aux molécules d'aboutir directement à cette circulation.

L'absorption des toxiques par les poumons, par inhalation, est la seconde voie de pénétration des toxiques. Elle joue notamment un rôle majeur en milieu professionnel. Ces intoxications sont très fréquentes. Les toxiques absorbés par les poumons sont les gaz (monoxyde de carbone, l'acide cyanhydrique), les substances volatiles (des solvants organiques), les fines particules solides (des substances lacrymogènes, micro-polluants industriels, incendies).

- **Les substances vont alors être distribuées dans l'organisme pour atteindre leur organe cible.**

La rapidité avec laquelle une substance va se répandre dans l'organisme dépendra du mode et du site d'application.

La distribution d'une substance administrée par voie intraveineuse sera plus rapide que pour une injection intramusculaire et encore plus rapide que pour une injection sous cutanée.

Par voie sublinguale une substance passe plus rapidement dans le sang que par administration orale classique.

Le toxique diffuse alors dans l'ensemble de l'organisme à partir du plasma. La distribution dépend de la substance, de **ses caractéristiques physicochimiques et en particulier de sa liposolubilité** et des organes, de l'existence de membranes spécifiques à franchir, de l'importance de l'irrigation (débit sanguin) et de la composition qui est à l'origine de l'affinité plus ou moins grande pour tel produit. Ainsi le tissu cérébral riche en lipides a une grande affinité pour les molécules liposolubles (comme le principe actif du cannabis par exemple).

Ces caractéristiques expliquent que le médicament **se distribue en général d'une manière non homogène dans les divers organes**. Par exemple, la chloroquine se trouve à une concentration 700 fois plus élevée dans le foie que dans le plasma.

- **Les toxiques vont alors subir différentes biotransformations** ceci se traduit par diverses modifications chimiques qu'ils vont subir dans l'organisme pour donner naissance à des **métabolites**. Les biotransformations sont essentiellement effectuées grâce aux enzymes spécialisées et principalement dans le foie.

Certains médicaments ne subissent pas de biotransformation dans l'organisme et sont éliminés tels quels, mais la plupart en subissent et ont un ou plusieurs métabolites, parfois plus de dix.

- **L'élimination des toxiques de l'organisme résulte de plusieurs processus :**

Les médicaments et leurs métabolites s'éliminent essentiellement dans l'urine et la bile.

En dehors de ses capacités métaboliques, le foie participe à l'excrétion des médicaments hors de l'organisme par le biais du système biliaire. Après excrétion dans la bile, le médicament se retrouve dans la lumière

intestinale où il peut être réabsorbé : c'est le cycle **entéro-hépatique**. L'analyse de la bile est particulièrement intéressante en toxicologie médico-légale car de nombreux toxiques peuvent y être identifiés à des concentrations très supérieures aux concentrations sanguines et y persistent plus longtemps que dans le sang, citons notamment le cas de la 6-monoacétylmorphine, marqueur de la consommation d'héroïne.

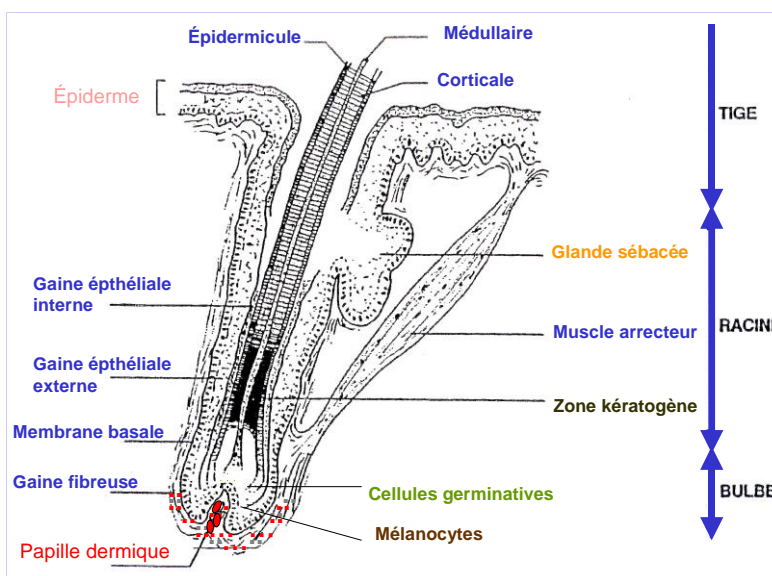
La plupart des molécules sont éliminées dans **les urines**, soit sous forme inchangée, soit sous forme de produits de dégradation. L'insuffisance de l'élimination d'un produit se traduit par un allongement de sa demi-vie (temps au bout duquel la moitié de la substance a disparu de l'organisme) et un risque d'accumulation pouvant entraîner des effets toxiques. Ceci est particulièrement vrai en cas d'insuffisance rénale.

Les autres voies (salivaire, pulmonaire, phanères, lactée...) sont usuellement négligeables par rapport aux voies rénale et hépatique mais elles ont une importance considérable en toxicologie médico-légale.

L'élimination pulmonaire (air expiré) ne concerne que les produits volatils, pour lesquels elle peut représenter la principale voie d'élimination. L'élimination de l'alcool par voie pulmonaire est mise à profit pour estimer la concentration plasmatique correspondante (alcootest). L'air expiré constitue aussi une voie d'élimination des solvants volatils (éther, hexane, benzène, trichloréthylène, etc.) qui peuvent être à l'origine d'intoxications par absorption pulmonaire. L'absorption et l'élimination dépendent des concentrations relatives de ces produits dans l'air expiré et le sang.

Un équivalent :
 1 ml de sang = 2 L d'air alvéolaire
 ou
 0,25 mg / mL d'air équivaut à 0,50 g/L de sang

Schéma représentant un cheveu avec sa racine



L'élimination salivaire est loin d'être négligeable car elle peut atteindre un à deux litres par jour. Cette sécrétion, variable dans la journée, en fonction des repas notamment, est quasi inexistante pendant le sommeil. L'élimination salivaire de diverses substances est connue depuis longtemps et **l'on admet d'une manière générale que la concentration salivaire des médicaments liposolubles est le reflet de leur concentration plasmatique sous forme libre**. Le dépistage des stupéfiants dans la salive, dont le principal intérêt est la rapidité d'exécution, est utilisé par les forces de l'ordre dans le cadre de contrôle routier. Il faut rappeler que les médicaments à propriétés atropiniques (substances dont l'effet pharmacologique est proche de l'atropine tels que les antidépresseurs imipraminiques et la plupart des antihistaminiques H1), inhibent la sécrétion salivaire et perturbent l'élimination des substances par cette voie.

L'élimination des toxiques dans les phanères (cheveux, ongles, poils), bien qu'étant une voie d'élimination mineure quantitativement, offre de nombreux avantages dans le domaine de la toxicologie.

C'est un milieu facile à prélever, facile à conserver (au sec et à température ambiante) et les molécules qui y sont piégées se conservent intactes dans sa structure pendant des mois voire des années. Cette matrice moins conventionnelle que le sang ou l'urine s'avère primordiale notamment dans les cas de soumission chimique ou d'exhumation.

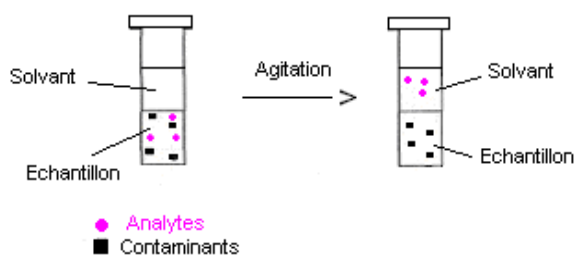
Soulignons enfin l'importance de **la voie lactée** pouvant être à l'origine d'intoxications du nourrisson lors de l'allaitement.

On peut trouver des médicaments, au moins à l'état de traces, dans pratiquement toutes les sécrétions, qu'elles soient lacrymales, nasales, bronchiques ou génitales. Ces voies sont sans nul doute très accessoires pour l'élimination des toxiques mais peuvent présenter une importance dans l'expertise scientifique toxicologique.

3. Méthodes séparatives utilisées mais non explicitées aux chapitres 5, 6, 7, 10, 11, 14

3.1. Extraction Liquide / Liquide (Liquid/Liquid Extraction - LLE)

Les analytes (espèces à doser) d'un échantillon en solution sont mis en présence d'un solvant approprié non miscible à celle-ci. Les deux phases sont vigoureusement agitées. Après séparation, le solvant est recueilli et analysé.

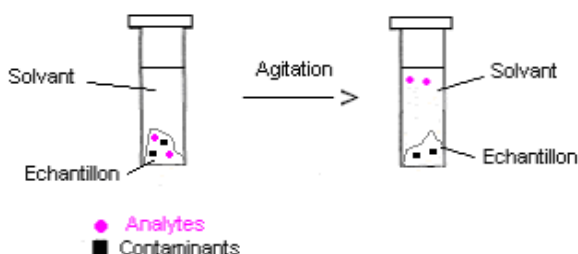


Applications (*nombreuses*) :

Chapitres 5 et 6 Toxicologie médico-légale ; Chapitre 14 Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : mise en oeuvre de la dosimétrie :

3.2. Extraction Liquide/Solide (Liquid/Solid Extraction - LSE)

Les analytes d'un échantillon solide sont mis en présence d'un solvant. Les deux phases sont vigoureusement agitées. Après séparation, le solvant est recueilli et analysé.

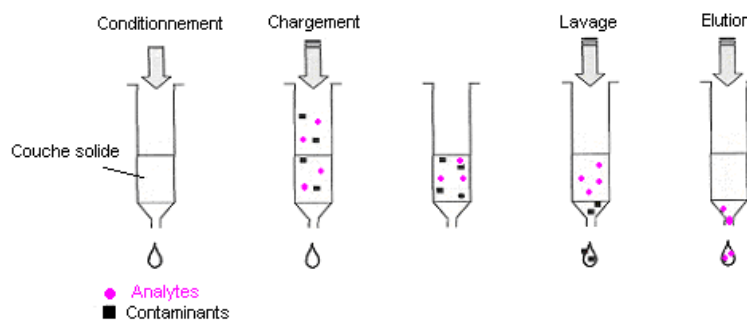


Applications (*nombreuses*) :

Chapitres 5 et 6 Toxicologie médico-légale ; Chapitre 14 Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : mise en oeuvre de la dosimétrie

3.3. Extraction en Phase Solide (Solid Phase Extraction - SPE)

Un échantillon en solution est passé au travers d'une couche solide, après un conditionnement préalable de celle-ci. L'analyte y est retenu et la matrice est éliminée par lavage à l'aide de solvants appropriés. Il est ensuite libéré par élution à l'aide d'autres solvants appropriés puis analysé.

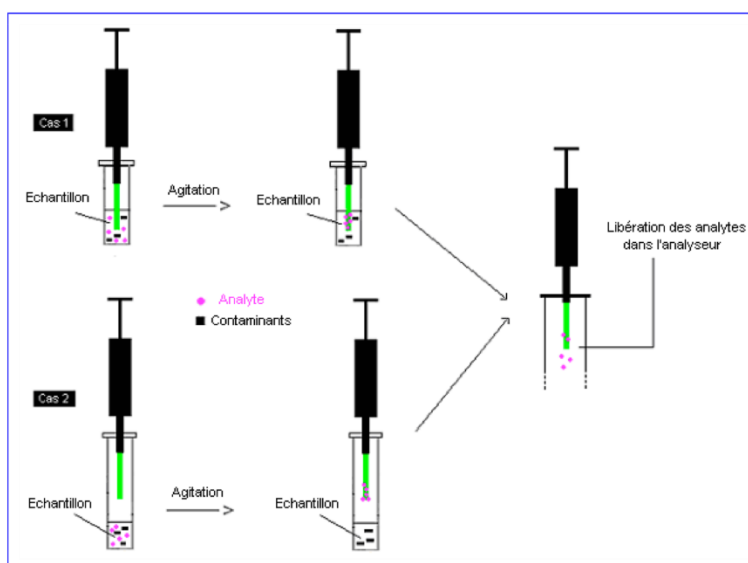


Applications :

Chapitres 5 et 6 Toxicologie médico-légale ; Chapitre 14 Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : mise en oeuvre de la dosimétrie :

3.4. Microextraction en Phase Solide (Solid Phase Microextraction - SPME)

Dispositif comportant une seringue dont l'extrémité du piston est pourvue d'une courte fibre capable de fixer l'analyte recherché. Cette fibre (exemples : PDMS ou poly diméthyl-siloxane ; PA ou poly acrylate ; CW/DVB ou Carbowax/divinyl-benzène ; CAR/PDMS : carboxen/PDMS ; PDMS/DVB) est introduite dans l'échantillon (Cas 1) ou dans l'espace situé au-dessus de sa surface (Cas 2) et capte les analytes présents puis les libère dans l'analyseur par augmentation de la température. Cette méthode ne permet pas une concentration de l'analyte, mais facilite le traitement de celui-ci quand cela est nécessaire (dérivation sur la fibre, souvent utilisée en chromatographie gazeuse).

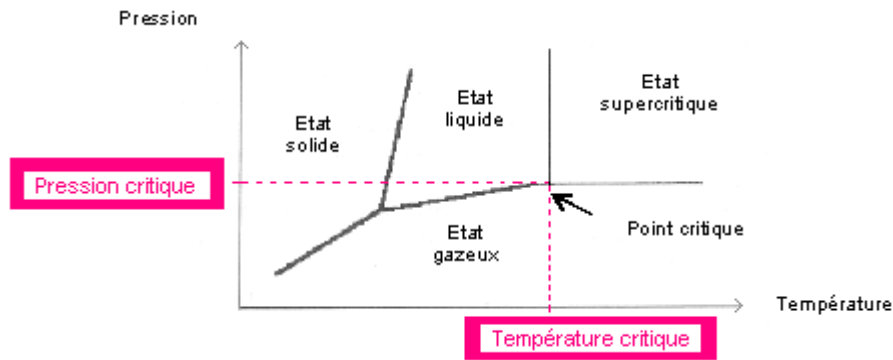


Applications (nombreuses) :

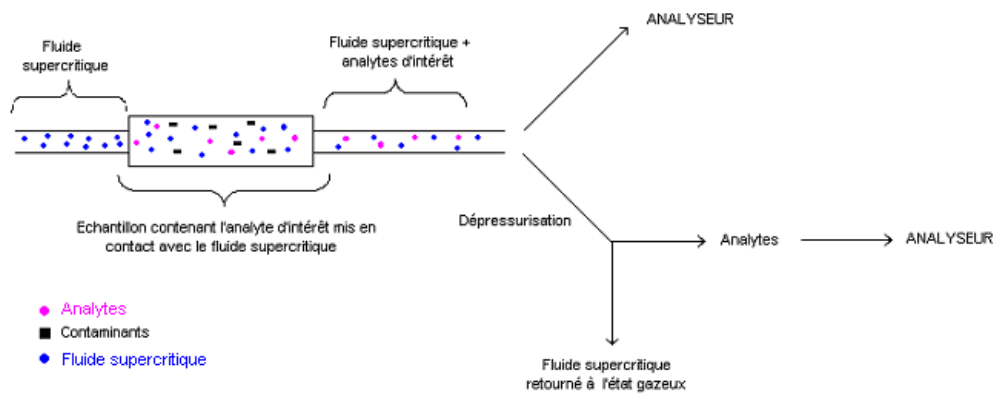
Chapitres 5 et 6 Toxicologie médico-légale ; Chapitre 14 Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : mise en oeuvre de la dosimétrie :

3.5. Extraction en Phase Fluide Supercritique (Supercritical Fluid Extraction - SFE)

La SFE permet d'extraire les analytes d'échantillons solides ou d'un mélange liquide/solide au moyen d'un fluide maintenu à l'état supercritique. Ce fluide est obtenu lorsqu'il est chauffé au-delà de sa température critique et comprimé au-dessus de sa pression critique. Les propriétés physiques de ce fluide dit supercritique sont alors intermédiaires entre celles des liquides et celles des gaz.



L'échantillon est mis en contact avec le fluide supercritique qui en extrait les analytes qui sont soit introduits directement dans l'analyseur, soit séparés du fluide supercritique grâce à une dépressurisation avant introduction dans l'analyseur.

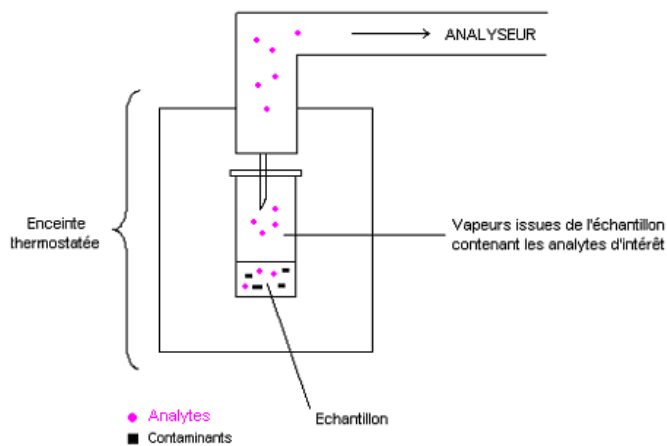


Applications (nombreuses) :

Chapitres 5 et 6 Toxicologie médico-légale ; Chapitre 14 Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : mise en oeuvre de la dosimétrie :

3.6. Espace de tête (Headspace - HS)

Technique appliquée aux composés très volatils contenus dans les échantillons solides et liquides. L'échantillon est chauffé, ses vapeurs, chargées d'analytes, sont alors recueillies et introduites dans l'analyseur.

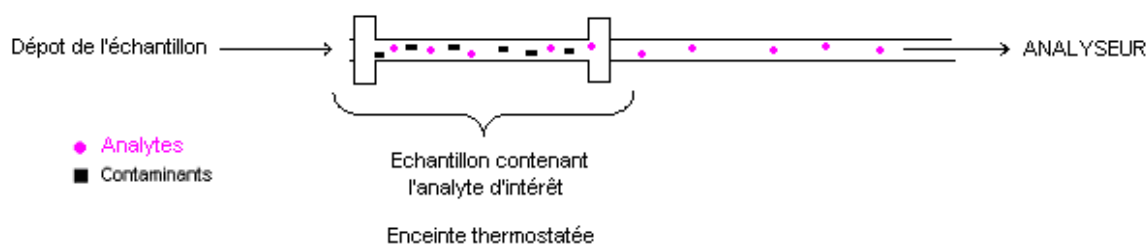


Applications (nombreuses) :

Chapitres 5 et 6 : Toxicologie médico-légale ; Chapitre 14 Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : mise en oeuvre de la dosimétrie :

3.7. Thermodésorption (Thermodesorption - TD)

Extraction par chauffage des analytes d'un échantillon liquide ou gazeux déposé sur un support solide afin de les libérer directement dans l'analyseur.



Applications (*nombreuses*) :

Chapitres 5 et 6 Toxicologie médico-légale ; Chapitre 14 Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : mise en oeuvre de la dosimétrie

3.8. Méthodes chromatographiques

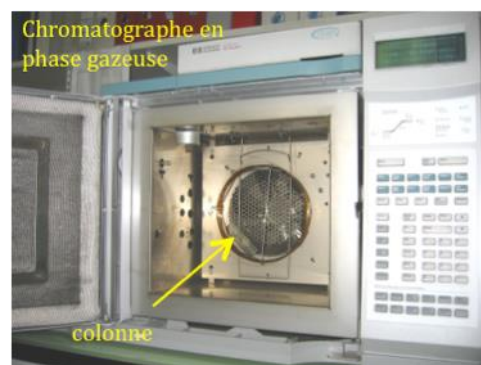
- **Chromatographie en phase gazeuse (CG)** : méthodes de séparation des constituants d'un mélange de substances gazeuses mais aussi à tous les composés susceptibles d'être volatilisés par élévation de température. A noter que cette contrainte limite l'utilisation de cette technique à l'étude d'analytes thermostables et suffisamment volatils, donc pour des masses moléculaires faibles.

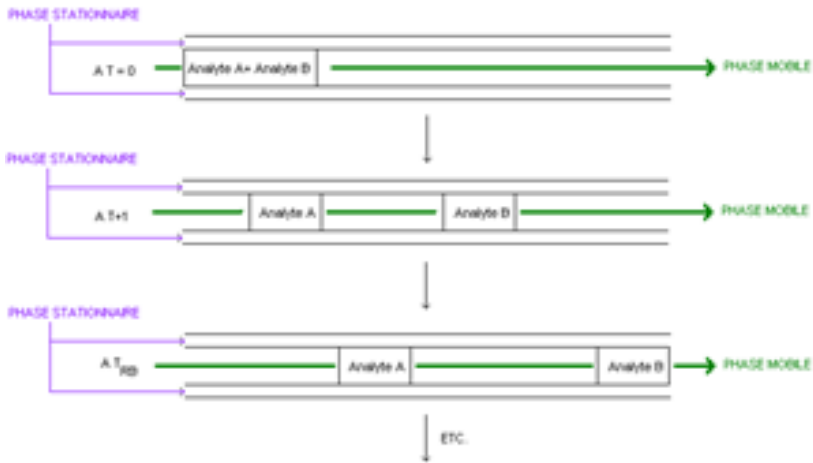
Remarque : il est parfois possible d'accroître la volatilité d'un analyte en modifiant sa structure moléculaire par divers procédés chimiques (étape de dérivation).

Cette séparation utilise :

- d'une part, leur différence de comportement vis-à-vis d'un support solide contenu dans une colonne capillaire de caractéristiques physico-chimiques choisies (polarité, affinité, etc....) et,
 - d'autre part leur entraînement dans un flux gazeux, dans des conditions de température et de pression données.
- **Chromatographie en phase liquide (LC)**
 - L'HPLC est une technique utile de criblage pour les molécules thermoinstables ne pouvant être soumises à des fortes températures et par conséquent mal adaptées à la chromatographie gazeuse (GC). Elle convient également aux substances non volatiles aux températures d'emploi des injecteurs de GC.
 - L'HPLC utilise la différence de comportement des molécules à séparer vis-à-vis : d'une part, de solvants en mélange dans des proportions données, variables en fonction du temps (gradient) et dans des conditions de température et de pression choisies, et d'autre part, d'un support de propriétés physico-chimiques données (silices greffées par exemple) contenu dans une courte colonne.

Dans les deux cas, un fluide (gazeux CG ou liquide LC) appelé phase mobile parcourt un tube appelé colonne recouvert d'une phase stationnaire. A l'instant initial ($T = 0$), le mélange à séparer est injecté à l'entrée de la colonne où il se dilue dans la phase mobile en l'entraînant à travers la phase stationnaire, sur laquelle les analytes sont inégalement retenus ce qui sépare les constituants du mélange injecté.

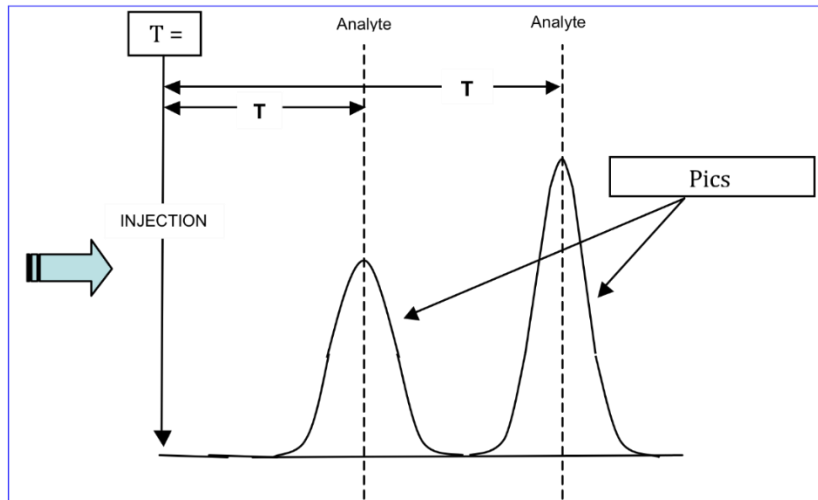




Un détecteur placé à la sortie de la colonne couplé à un enregistreur permet d'obtenir un tracé appelé chromatogramme. Après avoir parcouru la totalité de la colonne, les analytes sont détectés à son extrémité par le tracé d'un pic chromatographique dont l'aire permet de mesurer sa concentration dans le mélange injecté.

Remarque : dans des conditions chromatographiques données, chaque analyte est

caractérisé par son « temps de rétention » (T_R) autrement dit son temps de parcours à travers la colonne.



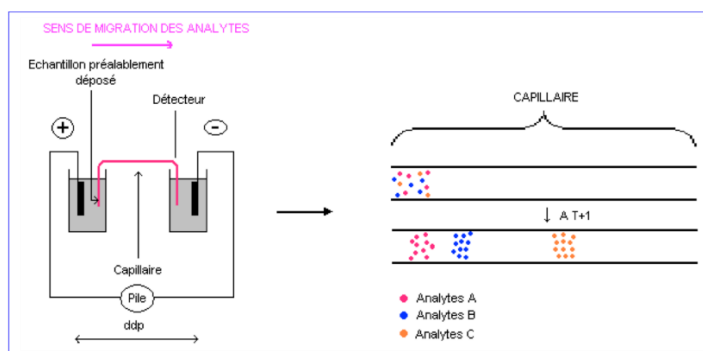
Principe d'une analyse par chromatographie

Applications (nombreuses) :

Chapitres 5 et 6 Toxicologie médico-légale ; Chapitre 7 Stupéfiants ; Chapitres 10 et 11 Incendies et explosions ; Chapitres 12 et 13 Balistique et expertise en document ; Chapitre 14 Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : mise en œuvre de la dosimétrie biologique :

3.9. Electrophorèse capillaire (Capillary Electrophoresis - CE)

L'électrophorèse capillaire est une technique séparative utilisée pour séparer des espèces ioniques selon le rapport de leur charge/taille et les forces de friction qui s'exercent sur elles. Elle repose sur le déplacement, sous l'effet d'un champ électrique induit par une différence de potentiel (ddp), des analytes présents en solution dans l'échantillon au travers d'un tube capillaire très fin rempli d'électrolyte dans lequel l'échantillon a été introduit au préalable.



Principe de l'électrophorèse capillaire

Applications :

Séquenceur de gènes (chapitre 8 Micro satellites) ; Toxicologie médico-légale (chapitre 5 et 6) ; Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : mise en œuvre de la dosimétrie biologique (chapitre 14).

4. Méthodes de détection utilisées mais non explicitées aux chapitres 5, 6, 7, 10, 11, 14

4.1. Résonance magnétique nucléaire RMN

Méthode permettant la détection principalement des atomes H, C, P, F, adaptée en particulier aux substances difficilement extractibles voire non extractibles de leur support. Cette technique exploite les propriétés magnétiques des noyaux atomiques de spin non nul c'est-à-dire qui possèdent un mouvement de rotation sur eux-mêmes générant un champ magnétique. Ces noyaux placés dans un champ magnétique externe et excités par un rayonnement de radio fréquences accordées sur les différences énergétiques des états de spin résonnent avec une fréquence particulière propre à chaque isotope (fonction de son rapport gyromagnétique).

Applications (nombreuses) :

Chapitres 5 et 6 : Toxicologie médico-légale ; Chapitre 14 Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : mise en œuvre de la dosimétrie biologique :

4.2. Absorptiométrie Infra Rouge IR

Les molécules possèdent des fréquences spécifiques pour lesquelles elles tournent ou vibrent en correspondance avec leur niveau d'énergie quantique, leurs masses atomiques et les mouvements électroniques ou nucléaires. Pour simplifier on peut dire que la fréquence des vibrations caractérise un type de liaison particulière. On a une seule liaison pour les molécules diatomiques mais possiblement

liaisons	Pics d'absorption	Importance relative
C-H de méthyle	1 260 cm ⁻¹ (7 937 nm)	Forte
	1 380 cm ⁻¹ (7 246 nm)	Faible
	2 870 cm ⁻¹ (3 484 nm)	Moyenne à forte
	2 960 cm ⁻¹ (3 378 nm)	Moyenne à forte
C=CH ₂	900 cm ⁻¹ (11 111 nm)	Forte
	2 975 cm ⁻¹ (3 361 nm)	Moyenne
	3 080 cm ⁻¹ (3 247 nm)	Moyenne
C=CH	3 020 cm ⁻¹ (3 311 nm)	
C=O acides carboxyliques saturés	1 710 cm ⁻¹ (5 848 nm)	
C=O cétones aromatiques	1 685 cm ⁻¹ (5 935 nm)	

Extrait de tables de correspondance IR : NSRDS-NBS

un grand nombre de liaisons pour les molécules complexes. Dans ce cas les vibrations se conjuguent de telle sorte qu'un faisceau de lumière infra rouge traversant un milieu contenant de telles molécules est absorbé de manière quasi caractéristique des groupes chimiques qui les composent. Ainsi le groupe CH₂ vibre de 6 manières possibles : par étirement symétrique ou anti symétrique, par cisaillement, bascule, agitation hors du plan et par torsion. L'examen de la lumière transmise indique la quantité de la lumière absorbée pour chaque longueur d'onde, leur ensemble constitue le spectre d'absorption infra rouge qui renseigne donc sur la structure moléculaire du produit soumis à l'examen. Le faisceau utilisé peut ne contenir qu'une longueur d'onde (monochromatique) ou varier au cours du temps d'analyse avec un système à Transformée de Fourier qui cumule toutes les mesures de longueurs d'onde simultanément.

Le spectre d'absorption IR comporte donc des pics dont la position et l'intensité indiquent la présence de groupes chimiques qui permettent de reconstruire la molécule présente dans le milieu. Il existe des **tables de correspondance** entre les principales liaisons et l'absorption IR.

Les appareillages possèdent des logiciels qui comparent instantanément les spectres obtenus avec des bases de données spectrales.

Cette technique impose généralement que les échantillons à analyser soient purs. Elle convient mieux aux échantillons correspondant à des molécules aux liaisons covalentes

Couplée à la GC/MS en ionisation chimique ou en impact électronique, voire à un autre type de détection, l'IR à transformée de Fourier apparaît comme un excellent moyen complémentaire de détection ou de confirmation

Applications (nombreuses) :

Chapitre 5 et 6 Toxicologie médico-légale ; Chapitre 14 : Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : mise en oeuvre de la dosimétrie biologique.

4.3. Absorptiométrie Ultraviolet UV /VISIBLE

Les molécules, les ions et les complexes, au repos, traversés par un faisceau lumineux comprenant des rayonnements électromagnétiques de 200 nm à 400 nm pour l'UV et 400 nm à 750 nm pour le visible, voire de 750 à 1400 nm pour le proche infrarouge, captent une quantité d'énergie au passage, et subissent une ou plusieurs transitions électroniques (passage à un niveau d'énergie supérieur).

La quantité d'énergie captée est dépendante de la composition atomique des molécules, ions ou complexes traversés. Le spectre d'absorption est le tracé de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde. Ce spectre est plus ou moins caractéristique de types d'espèces moléculaires ou ioniques. Comme pour l'Infra rouge, certains appareillages utiles en analyse préliminaire en toxicologie possèdent des bibliothèques spectrales comparées automatiquement aux spectres obtenus avec des index de vraisemblance.

Tout comme en Infra rouge le phénomène est dépendant de la quantité d'espèces moléculaires ou ioniques traversées (concentration, et longueur) et suit des lois physiques rigoureuses (Loi de Lambert-Beer). Il est donc possible après identification des espèces de les quantifier par cette technique.

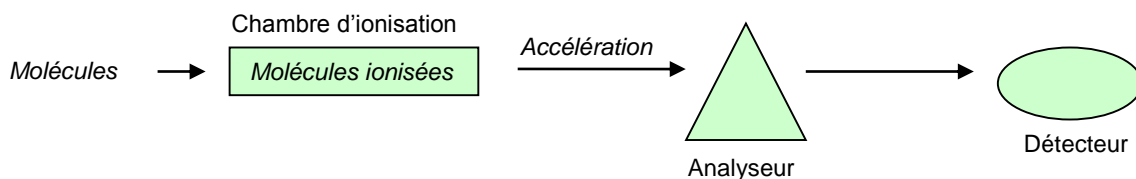
Applications (nombreuses) :

Chapitre 5 et 6 Toxicologie médico-légale ; Chapitre 14 Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : Mise en oeuvre de la dosimétrie biologique.

4.4. Spectrométrie de masse

Le spectromètre de masse SM peut non seulement être exploité en tant que détecteur quantitatif mais il permet également l'identification structurale précise des analytes.

Le principe du spectromètre de masse repose sur la séparation et la détermination des masses des ions (forme chargée de l'analyte). L'échantillon, porté sous forme de gaz ou de vapeur, est ionisé par diverses méthodes adaptées à la nature de l'échantillon. Les ions ainsi formés sont accélérés et séparés (au sein de l'analyseur) sous l'action d'un champ électrique et/ou magnétique en fonction de leur rapport masse sur charge. Après séparation, les ions viennent frapper le détecteur. Un ion fragment d'une première ionisation peut être isolé et à nouveau fragmenté. La technique SM en tandem améliore la capacité d'identification structurale. L'opération peut être déclinée plusieurs fois (SMⁿ).



Applications (nombreuses) :

Chapitres 5 et 6 Toxicologie médico-légale ; Chapitre 14 Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : mise en oeuvre de la dosimétrie biologique.

Exemples de chromatographes couplés à la spectrométrie de masse :

1. Chromatographe en phase liquide couplé à la spectrométrie de masse :



LC/MSMS
LCQ fleet Thermo (trappe d'ions)



LCMSMS
Quantum Ultra Thermo (triple quadripole)

2. Chromatographe en phase gazeuse couplé à la spectrométrie de masse :



G/MS Agilent GC 7890-MS5975

5. Fiches techniques pour constatations et actes techniques en zone contaminée

5.1. Fiche A. Reconnaissance

Elle relève d'un binôme comprenant un enquêteur et un fonctionnaire d'identité judiciaire qui évalue la scène d'infraction en filmant l'ensemble de la zone au moyen d'un caméscope, ou d'un appareil photo vidéo étanche voire muni d'une coque protectrice.

Le matériel utilisé tout au long du processus de constatation peut éventuellement être acheminé par cette première équipe à l'aide d'un petit chariot et disposé pour les équipes suivantes. En cas de besoin, un relais radio et/ou une caméra avec liaison extérieure est déployée dans la zone afin que le directeur d'enquête et

le coordinateur de PTS puissent assister en temps réel à l'intervention, évaluer les problématiques, adapter le dispositif aux conditions rencontrées et faire appel à d'autres moyens si nécessaire.

La reconnaissance ne dure que le strict temps nécessaire à l'évaluation globale de la situation. Les constatations détaillées ne sont pas débutées à ce stade sauf urgence avérée. Cependant la sectorisation à mettre en place doit être ébauchée, dès cette première phase.

À l'issue d'échanges avec le directeur d'enquête, au vu des informations collectées lors de la reconnaissance, il est décidé précisément des conditions d'intervention, des fonctionnaires intervenants et des missions à réaliser.

La sécurité à ce stade doit primer sur toute autre considération ce qui prohibe toute précipitation. Pour des raisons de santé, en cas de présence de matières radioactives, la durée d'exposition des intervenants est limitée par le COS.

5.2. Fiche B. La mission de sectorisation

Si elle est jugée nécessaire, la sectorisation retenue est effectuée par un binôme de fonctionnaires I.J. La matérialisation est réalisée de la manière la plus simple et la plus rapide possible (piquets, bombes de peinture fluorescente, panonceaux, rubans de balisage, scotch avec dérouleur pour attache au sol, cônes de Lübeck)

Le quadrillage tient compte de la configuration des lieux.

Après sa mise en place, chaque secteur est identifié par un numéro d'ordre comme pour les attentats classiques.

5.3. Fiche C. Recherche et matérialisation des indices

Cette mission est effectuée par un binôme enquêteur/spécialiste I.J. dont les décisions doivent être partagées. En cas de nécessité, ils sont relayés par une seconde équipe jusqu'à achèvement de la mission. Elle consiste, sur un ou plusieurs secteurs, à repérer, choisir et marquer, le plus simplement et rapidement possible, les éléments d'intérêt pour l'enquête faisant l'objet de recherche de traces ou d'un prélèvement. Le choix repose sur des critères intégrant les difficultés de décontamination et d'exploitation ultérieure, les moyens de transfert disponibles. Après traitement, chaque secteur est l'objet d'une série de photographies.

La numérotation des indices qui deviendra celle du scellé peut être calquée sur celle utilisée lors d'attentats conventionnels (note technique SCIJ n°1440/06).

Comme pour le repérage d'indices conventionnels, sauf en atmosphère explosive, l'usage d'un appareil de luminescence peut être utile mais sa décontamination délicate voire impossible.

5.4. Fiche D. La mission révélation / prélèvement

Elle est assumée par deux fonctionnaires de l'identité judiciaire et un enquêteur. En cas de mission de durée importante, une seconde équipe prend le relais à un repère laissé par la première.

Sur un cahier spécifique (CS), l'enquêteur numérote les différents indices et les cotes mesurées par ses collègues de l'IJ qui photographient les détails, l'environnement et chaque page du CS puis conditionnent les prélèvements dans une triple enveloppe dont la dernière comporte le marquage provisoire visible (*voir chapitre 14 point 2 § 2.5 Conditions particulières d'intervention des services de police et gendarmerie et 4.3.4. emballage et transport d'échantillon*). Lorsqu'ils sont contaminés, ils sont difficilement exploitables, les recherches de traces sur place sont donc privilégiées (utilisation des poudres, cyanowand, enceinte simple de fumigation, spray pour les supports poreux, prélèvements biologiques par écouvillons, etc). **Les**

prélèvements sont placés dans des conteneurs en plastique décontaminés en sortie de zone constituant alors les scellés définitifs conditionnés en vue de leur exploitation ultérieure.

Les cartes mémoires photographiques sont exploitées sur lecteur et/ou ordinateur dédiés éventuellement « durcis ». Leur manipulation se fait sous protection. Les scellés, placés dans une valise étanche de type « pélican », sont transportés à un laboratoire habilité par l'intermédiaire d'un transporteur agréé.

5.5. Fiche E. Eviter les erreurs d'échantillonnage sur le terrain

1. Nettoyer et stériliser le matériel d'échantillonnage, puis le conserver dans des sacs stériles jusqu'à son utilisation. Les instruments servant à l'échantillonnage doivent être en nombre suffisant afin de ne pas avoir à les réutiliser d'un échantillon à l'autre. Ainsi le risque de contamination des échantillons se trouve grandement réduit.
2. Recueillir la plus grande quantité d'échantillon possible.
3. Placer chaque échantillon dans des conteneurs propres et distincts et y apposer une étiquette regroupant le plus d'informations utiles relatives à l'échantillon.
4. Recueillir et conditionner, de la même manière que les matières contaminées, des échantillons témoins. Ces derniers peuvent être obtenus dans des zones que l'on sait non contaminées ou, s'il s'agit de liquides biologiques, auprès de personnels non exposés.
5. Prélever les échantillons dans les plus brefs délais et les transporter par le moyen le plus rapide, dans des conditions contrôlées de réfrigération, au laboratoire d'identification.

Table des matières

CHAPITRE 1. Législation et réglementation de l'expertise de police scientifique	11
1. Introduction	11
2. Choix et désignation de l'expert.....	11
2.1. Liberté du magistrat ou de la juridiction	12
2.1.1. L'opportunité de l'expertise	12
2.1.2. Choix de l'expert ou des experts	12
2.1.3. La désignation formelle de l'expert.....	14
2.2. Rôle des parties	19
2.3. Rôle de l'expert.....	20
2.3.1. L'éventuelle adaptation des termes de la mission, de son délai et l'assistance apportée à l'expert	20
2.3.2. L'acceptation formelle de la mission et les informations données par l'expert : coût de l'expertise, délai de l'expertise, appartenance à une association	20
3. L'accomplissement de sa mission par l'expert	21
3.1. L'expert et les pièces.....	21
3.1.1. L'expert et les pièces de la procédure	21
3.1.2. L'expert et les scellés	22
3.2. L'expert et les parties	22
3.2.1. Le principe de la contradiction	22
3.2.2. La communication avec les parties	23
3.3. L'expert et les tiers	24
3.4. L'expert, ses assistants, ses adjoints	24
3.5. Les difficultés rencontrées par l'expert.....	25
3.6. Le rapport d'expertise.....	25
3.6.1. Rédaction, forme et contenu du rapport.....	25
3.6.2. Communication du rapport	27
3.6.3. Suites du rapport.....	28
4. Conclusion	30
CHAPITRE 2. Gestion de scène de crime	31
1. Introduction	31
2. Considérations générales	32
2.1. Définition	32
2.2. Aspects juridiques.....	32
2.3. Objectifs de la gestion de la scène de crime	33
3. Les moyens de la Police et de la Gendarmerie.....	34
3.1. La police technique et scientifique en gendarmerie (PTS)	34
3.1.1. Niveau élémentaire	34
3.1.2. Niveau départemental.....	34
3.1.3. Niveau national	36
3.1.4. Formation des personnels.....	38
3.2. La police technique et scientifique dans la police nationale	38
3.2.1. La Sous-direction de la police technique et scientifique.....	38
3.2.2. L'institut national de police scientifique (INPS).....	44
4. Gestion de la scène du crime, théorie et pratique	45
4.1. Approche théorique	45
4.2. Méthodologie, les grands principes de la criminalistique.....	45
4.2.1. Le principe de Locard ou principe de l'échange	45

4.2.2.	Le principe de Kirk ou principe de l'identification.....	45
5.	La gestion pratique de la scène de crime	46
5.1.	Les premiers intervenants	46
5.2.	La reprise de la scène de crime.....	47
5.2.1.	Investissement de la scène de crime par le TCI.....	47
5.2.2.	Exploitation du travail des premiers intervenants	48
5.3.	Caractéristiques des traces.....	48
5.3.1.	Que doit-on rechercher ?	48
5.3.2.	Comment doit-on raisonner ?.....	48
5.3.3.	Génération d'hypothèses ou analyse fonctionnelle des événements.....	49
5.3.4.	De la trace à l'indice	51
5.4.	La phase de prélèvements.....	52
5.4.1.	Mode de recueil.....	52
5.4.2.	Mise en condition et acheminement.....	53
5.4.3.	Mise à disposition de la justice puis de l'expert	53
5.5.	Les experts	53
5.5.1.	L'intervention du médecin légiste	53
5.5.2.	Le balisticien.....	57
5.5.3.	L'expert en traces de sang.....	57
5.5.4.	L'expert en incendie.....	57
5.5.5.	Le spécialiste en accidentologie.....	57
5.6.	La mission du gestionnaire après la libération de la scène de crime.....	57
5.6.1.	Les scellés.....	57
5.6.2.	Le procès-verbal de transport.....	58
6.	La coordination des opérations de criminalistique et la synthèse de la scène de crime	58
6.1.	Stratégie et perspectives.....	58
6.2.	Le pré-requis de la coordination des opérations.....	58
6.2.1.	Premier niveau	58
6.2.2.	Deuxième niveau	59
6.2.3.	Troisième niveau	59
7.	Contextes particuliers (terrorisme, catastrophes de masse)	60
7.1.	Les différentes phases du processus d'identification	60
7.2.	Les particularités liées à un attentat	62
7.2.1.	Rôle des premiers intervenants.....	62
7.2.2.	Poste de suivi des évacuations.....	62
7.2.3.	Poste de commandement « Enquête ».....	62
7.2.4.	Les principes de base.....	63
8.	Assurance qualité et scène de crime.....	63
8.1.	Besoins des magistrats et des enquêteurs.....	63
8.2.	Les normes en vigueur.....	64
8.3.	Protocole ENFSI.....	64
9.	Conclusion	64
10.	Bibliographie	65
CHAPITRE 3. RÔLE ET LIMITES DE LA TRACE EN POLICE SCIENTIFIQUE		67
1.	Introduction.....	67
2.	La trace, définition.....	67
3.	Démarche heuristique et abduction	69
4.	Trace, signe et indice	71
4.1.	De la trace au signe.....	71

4.2.	Du signe à l'indice :	72
5.	Trace et empreinte.....	75
6.	Trace : échantillon ou spécimen ?	76
7.	Comment la trace devient indice de source, d'action et de renseignement ?	78
7.1.	La trace : indice de source	79
7.2.	La trace : indice d'action	80
7.3.	La trace : indice de renseignement.....	81
7.4.	Hypothèse de pertinence et de la représentativité de la trace	82
7.4.1.	Pertinence de la trace	83
7.4.2.	Représentativité de la trace	83
7.5.	Maitriser les erreurs	85
8.	Conclusion	86
9.	Bibliographie.....	86
CHAPITRE 4. AUTOPSIE ET IDENTIFICATION DES SQUELETTES.....		91
1.	Introduction	91
2.	L'autopsie judiciaire [1]	91
2.1.	Conditions préalables.....	91
2.2.	Examen externe	91
2.2.1.	Les éléments signalétiques	92
2.2.2.	Les phénomènes cadavériques	92
2.2.3.	Les lésions traumatiques externes :.....	92
2.2.4.	Autres observations diverses.....	93
2.3.	Prélèvements	93
2.4.	Examen radiologique.....	93
2.5.	Examen interne	93
2.5.1.	Temps tégumentaire.....	93
2.5.2.	Temps thoraco-abdominal et pelvien	93
2.6.	Temps cervical.....	94
2.6.1.	Temps céphalique	94
2.6.2.	Restauration du corps	94
2.7.	Techniques spéciales	94
2.7.1.	La découverte du masque osseux :	94
2.7.2.	Éviscération totale du petit bassin	95
2.7.3.	Extraction de la moelle épinière.....	95
2.7.4.	Recherche de l'embolie gazeuse	95
2.7.5.	Autopsie du nouveau-né	95
2.8.	Prélèvements	95
2.8.1.	Prélèvements aux fins d'expertise anatomo-pathologique	95
2.8.2.	Prélèvements en vue de l'expertise toxicologique	96
2.8.3.	Prélèvements pour recherche bactériologique.....	96
2.8.4.	Prélèvements de corps étrangers et divers	96
2.8.5.	Prélèvements pour recherche d'empreintes génétiques.....	96
2.9.	Examen radiologique.....	96
2.10.	Dossier photographique.....	97
2.11.	Rédaction du rapport médico-légal.....	97
2.11.1.	Le rappel de la mission.....	97
2.11.2.	L'exposé de toutes les données	97
2.11.3.	Une discussion	97
2.11.4.	Les prélèvements effectués.....	97
3.	Identification des cadavres.....	97
3.1.	Identification d'un cadavre dont l'identité est supposée	97
3.2.	Identification d'un cadavre strictement inconnu.....	98

3.2.1.	L'évaluation de l'ancienneté du cadavre.....	98
3.2.2.	La détermination de la race.....	98
3.2.3.	La détermination du sexe.....	98
3.2.4.	La détermination de l'âge.....	98
3.3.	Identification de restes humains.....	99
4.	Conclusion.....	100
5.	Bibliographie.....	100
CHAPITRE 5. EXPERTISE TOXICOLOGIQUE MÉDICOLÉGALE. LES POISONS RECHERCHÉS ET LES OUTILS DE L'EXPERT..... 101		
1.	Introduction.....	101
2.	Pharmacologie et métabolisme des xénobiotiques ou bases indispensables à l'expertise toxicologique.....	103
2.1.	Pénétration, distribution et élimination.....	103
2.2.	Produits de transformation.....	103
2.3.	Éléments de pharmacocinétique ou toxicocinétique.....	104
3.	Substances recherchées par l'expert.....	105
3.1.	Les médicaments psychotropes.....	106
3.1.1.	Les neuroleptiques.....	106
3.1.2.	Les tranquillisants ou anxiolytiques et hypnotiques non stupéfiants.....	107
3.1.3.	Les antidépresseurs.....	110
3.2.	Les anesthésiques.....	112
3.2.1.	Les anesthésiques généraux.....	113
3.2.2.	Les anesthésiques locaux.....	114
3.3.	Les cardiotropes.....	114
3.3.1.	Les digitaliques.....	115
3.3.2.	Les antihypertenseurs centraux.....	115
3.4.	Les stupéfiants.....	116
3.4.1.	Cannabinoïdes.....	116
3.4.2.	Opiacés et opioïdes.....	119
3.4.3.	Cocaïniques.....	122
3.4.4.	Amphétamines.....	124
3.4.5.	Hallucinogènes.....	125
3.4.6.	Méthodes de détection et de quantification des stupéfiants.....	128
3.5.	Poisons cytotoxiques de la respiration cellulaire.....	129
3.5.1.	Monoxyde de carbone.....	129
3.5.2.	Cyanures.....	130
3.5.3.	Nitrates et nitrites.....	132
3.6.	Les substances volatiles.....	133
3.7.	Métaux et métalloïdes.....	136
3.8.	Les pesticides et produits domestiques.....	137
3.9.	Les toxiques d'origine naturelle.....	137
4.	Les techniques analytiques.....	139
4.1.	Traitement et préparation des prélèvements.....	139
4.1.1.	La méthode d'extraction de Stas Otto et Ogier.....	139
4.1.2.	L'extraction liquide-liquide.....	139
4.1.3.	L'extraction en phase solide.....	140
4.1.4.	La micro-extraction sur phase solide.....	140
4.1.5.	L'extraction immunochimique.....	140
4.2.	Méthodes séparatives.....	140
4.2.1.	La chromatographie en phase gazeuse.....	141
4.2.2.	La chromatographie liquide haute performance.....	141
4.2.3.	Autres techniques.....	141
4.3.	Méthodes de détection.....	142

4.3.1.	Détecteurs classiquement utilisés avec la GC en toxicologie médico-légale.....	142
4.3.2.	Détecteurs utilisés de préférence par l'HPLC	142
4.3.3.	Détecteurs associés indifféremment à la GC et l'HPLC	143
4.4.	Méthodes spectrométriques.....	144
4.4.1.	La spectrométrie d'absorption atomique.....	145
4.4.2.	La spectrométrie d'émission atomique	145
4.4.3.	Le plasma à couplage inductif relié à la spectrométrie de masse.....	145
4.5.	Méthodes immunochimiques	145
5.	Conclusion	147
6.	Bibliographie.....	147
CHAPITRE 6. EXPERTISE TOXICOLOGIQUE MÉDICO-LÉGALE, DOMAINES D'APPLICATION		153
1.	Introduction	153
2.	Sécurité routière.....	153
2.1.	Des chiffres.....	154
2.1.1.	Alcool	154
2.1.2.	Stupéfiants.....	154
2.2.	Législation et sanctions	155
2.2.1.	Alcool [3].....	155
2.2.2.	Stupéfiants [5]	156
2.3.	Les prélèvements	157
2.3.1.	Alcool	157
2.3.2.	Stupéfiants.....	157
2.4.	Prélèvements alternatifs.....	159
2.4.1.	Le prélèvement salivaire.....	159
2.4.2.	Le prélèvement capillaire	160
3.	Contrôle des conduites addictives	160
3.1.	Distinguer un dealer d'un consommateur pour adapter la peine de prison	160
3.2.	Restitution du permis de conduire (7)	161
3.3.	Suivi d'une désintoxication.....	161
3.3.1.	Désintoxication alcoolique.....	161
3.3.2.	Désintoxication aux stupéfiants.....	162
4.	Contrôle du dopage.....	163
5.	La soumission chimique.....	163
5.1.	Définition	163
5.2.	Les acteurs.....	164
5.3.	Les effets.....	164
5.4.	Les substances utilisées	165
5.5.	Les prélèvements utiles.....	165
5.5.1.	Sang et urine	166
5.5.2.	Cheveux et poils	166
5.6.	Le parc analytique nécessaire	167
5.7.	Les difficultés rencontrées	167
5.7.1.	D'un point de vue analytique	167
5.7.2.	D'un point de vue de la signification des résultats.....	168
6.	La découverte de cadavre (art.74 cpp).....	169
6.1.	Prélèvements autopsiques (voir aussi chapitre 4).....	170
6.1.1.	Le Sang	171
6.1.2.	L'urine	172
6.1.3.	Le contenu gastrique	172
6.1.4.	Les autres milieux	172
6.2.	Démarche expertale de l'expert (figure 6).....	174
6.3.	Signification des résultats de l'expertise et difficultés inhérentes.....	176

6.3.1.	Description schématique d'un cas médico-légal toxicologique simple : Un suicide ?	176
6.3.2.	Quelques difficultés	177
7.	Conclusion	183
8.	Bibliographie	184
CHAPITRE 7. EXPERTISE DE POLICE SCIENTIFIQUE EN MATIÈRE DE STUPÉFIANTS		189
1.	Introduction	189
2.	Les produits stupéfiants	189
2.1.	Présentation des produits stupéfiants	189
2.1.1.	Substances classiques	189
2.1.2.	Les substances de synthèse	194
2.1.3.	Autres substances	197
3.	Stratégie d'analyse	198
3.1.	De la saisie au laboratoire d'analyses	198
3.1.1.	Echantillonnage de saisie de drogue en tant que telle ou supposée telle	198
3.1.2.	Pratiques lors de saisies dans des laboratoires clandestins	200
3.1.3.	Moyens d'analyse	200
3.2.	Analyses compositionnelles	202
3.2.1.	Analyse qualitative	202
3.2.2.	Analyse quantitative	203
3.3.	Les analyses de comparaison	203
3.3.1.	Concept	203
3.3.2.	Développement de la méthode d'analyse	204
3.3.3.	Exploitation statistique	205
3.3.4.	Choix des populations de référence	205
3.3.5.	Bases de données	206
4.	Conclusion	206
5.	bibliographie	206
CHAPITRE 8. LES EMPREINTES DIGITALES		209
1.	Introduction	209
2.	Bref aperçu historique	213
3.	Les cadres d'utilisation des empreintes papillaires dans l'investigation	216
3.1.	La comparaison entre empreintes	217
3.2.	La comparaison trace-empreintes (ou empreinte-traces)	217
4.	Méthodes de détection des traces papillaires	218
4.1.	Type de traces	218
4.2.	Choix technique	218
4.3.	Les méthodes optiques	219
4.4.	Les méthodes physiques	219
4.5.	Les méthodes chimiques	220
5.	Le processus d'identification	221
5.1.	Propriétés fondamentales	221
5.1.1.	Variabilité	221
5.1.2.	Permanence	221
5.2.	Le protocole utilisé pour effectuer des comparaisons : ACE-V	221
5.2.1.	Phase d'analyse	222

5.2.2.	Phase de comparaison.....	222
5.2.3.	Phase d'évaluation	223
5.2.4.	Phase de vérification.....	225
5.3.	Standards pour l'identification	225
5.3.1.	Standards numériques (ou empiriques).....	226
5.3.2.	Approche holistique	227
5.3.3.	Approche par modèle statistique	228
5.4.	Les biais et les erreurs dans l'identification dactyloscopique.....	228
5.5.	De la source à l'activité	230
5.5.1.	Datation de la trace.....	230
5.5.2.	Emplacement de la trace.....	230
5.5.3.	Quelle alternative pour l'expert ?.....	230
6.	La preuve dactyloscopique devant les tribunaux.....	231
7.	Conclusion	232
8.	Bibliographie.....	232
CHAPITRE 9. LES MICROSATELLITES AU SERVICE DE LA JUSTICE		235
1.	Introduction	235
2.	Les textes législatifs et réglementaires	236
3.	L'ADN : où chercher ?.....	237
3.1.	Recherche de sang	237
3.1.1.	Principe.....	237
3.1.2.	Les réactifs : Méthodes.....	238
3.2.	Détermination de l'origine humaine du sang :	239
3.3.	Recherche de sperme	240
3.3.1.	Examen d'orientation, mise en évidence de phosphatase acide	241
3.3.2.	Examen de certitude : recherche de spermatozoïdes	242
3.4.	La recherche de salive : mise en évidence d'alpha-amylase	243
3.5.	Utilisation de sources lumineuses à différentes longueurs d'onde	244
3.6.	Les traces dites « de contact »	245
3.7.	Les éléments pileux.....	246
3.8.	Les ongles	247
3.9.	Autres matières biologiques : urine, fèces.. ..	248
4.	L'analyse génétique :	248
4.1.	Extraction de l'ADN	249
4.2.	Quantification de l'ADN extrait.....	250
4.3.	Analyse de l'ADN :	250
4.3.1.	Les différents types de polymorphismes de l'ADN	250
4.3.2.	Techniques d'analyses	252
4.3.3.	Les STR en 2010.....	257
5.	Le rôle de l'expert.....	268
5.1.	Les limites techniques.....	268
5.2.	Les limites de l'interprétation	270
5.2.1.	Pertinence du prélèvement.....	274
5.2.2.	Pertinence du résultat.....	274
5.2.3.	Exhaustivité des prélèvements :	274
5.2.4.	Fiabilité des résultats – évaluation statistique :	275
5.3.	La déposition en cours d'assises.....	275
6.	Conclusion	275
7.	Bibliographie.....	276

CHAPITRE 10. EXPERTISE EN MATIÈRE D'INCENDIES 279

1. Introduction	279
2. Définitions	280
3. Mécanisme de la combustion	280
3.1. Conditions d'apparition des flammes	280
3.2. Les gaz de pyrolyse	281
3.3. Le triangle du feu.....	282
3.3.1. Les limites d'inflammabilité	282
3.3.2. La température d'auto-inflammation.....	282
3.4. Évolution de la combustion	283
3.4.1. La combustion lente.....	283
3.4.2. La combustion vive.....	283
4. L'enquête judiciaire après incendie	284
4.1. Les objectifs de l'enquête	284
4.1.1. L'enquête préliminaire et l'enquête pénale.....	284
4.1.2. Devant les juridictions civiles.....	285
4.2. Méthodologie de l'enquête.....	285
4.2.1. Sur l'origine de l'incendie	285
4.2.2. Sur les causes de l'incendie.....	285
4.2.3. Les combustibles présents.....	286
4.2.4. Identification des matières inflammables et Recherche d'accélérateurs.....	288
4.2.5. Le comburant	289
4.2.6. La source d'énergie	290
4.3. Sur la propagation de l'incendie.....	293
4.3.1. Propagation continue	293
4.3.2. Propagation discontinue.....	293
4.4. Modélisation. L'ingénierie de la sécurité incendie	295
5. Conclusion	295
6. Bibliographie	295

CHAPITRE 11. EXPERTISE EN MATIÈRE D'EXPLOSIONS..... 297

1. Introduction	297
2. Explosifs condensés et mélanges gazeux explosifs	299
2.1. Caractéristiques.....	299
2.2. Les mélanges gazeux explosifs en milieu confiné.....	300
2.2.1. Limites d'explosivité.....	300
2.2.2. La source d'allumage	300
2.2.3. Les explosions de gaz de ville	302
2.2.4. Évolution de la toxicité du gaz de ville.....	303
2.3. Les mélanges gazeux explosifs en milieu ouvert	303
2.4. Les explosions en mélanges diphasiques	304
2.4.1. Les explosions de poussières.....	304
2.4.2. Les explosions d'aérosols	304
2.5. Les explosifs condensés	304
2.5.1. De la déflagration à la détonation.....	305
2.5.2. Effets des explosions d'explosifs condensés	305
3. L'enquête après explosion	307
3.1. Explosions dues à la mise en œuvre d'explosifs.....	308
3.1.1. Identification de la nature de la charge.....	308
3.1.2. Effet des explosions sur les structures	309

3.2.	Explosions de gaz et de vapeurs inflammables	310
3.2.1.	Les explosions de gaz de ville	310
3.2.2.	Explosions pneumatiques.....	311
3.2.3.	Le BLEVE.....	311
4.	Conclusion et évolutions.....	312
5.	Bibliographie.....	312
CHAPITRE 12. EXPERTISE EN BALISTIQUE		313
1.	Introduction	313
2.	Les armes à feu	313
2.1.	Le contexte	313
2.2.	La législation	313
2.3.	Les types d'armes.....	314
2.4.	La volumétrie.....	314
2.5.	L'introduction illicite des armes en France	315
2.6.	Les armes transformées et les armes de fabrication artisanale.....	316
2.6.1.	Les armes de poing.....	316
2.6.2.	Les armes neutralisées	316
2.6.3.	Les armes de fabrication artisanale	316
2.7.	La Collection Nationale des Armes et Munitions	317
3.	Les cartouches	317
4.	Les comparaisons	318
4.1.	La balistique intérieure	319
4.2.	Les caractéristiques générales d'empreintes de tir	319
4.3.	Les caractéristiques individuelles d'empreintes de tir	320
4.4.	Historique des comparaisons d'éléments de tir	321
4.5.	Interprétation des résultats.....	326
5.	Qualitatif et quantitatif.....	326
6.	Evaluation des distances de tir.....	327
6.1.	Tir à bout touchant.....	328
6.2.	Tir à très courte distance.....	329
6.3.	Tir à distance rapprochée.....	329
6.4.	Tir à toute autre distance.....	329
6.5.	Observation spécifique aux tirs à projectiles multiples	329
7.	Détermination des trajectoires de tir	330
7.1.	Les trajectoires intracorporelles établies suite à l'examen d'un vêtement.....	330
7.2.	Trajectoire extérieure, détermination de l'origine d'un tir.....	331
8.	Les résidus de tir.....	332
8.1.	Origine et composition.....	332
8.2.	Détection.....	332
8.2.1.	Bref rappel historique	332
8.2.2.	Caractérisation par spectrométrie d'absorption atomique.....	332
8.2.3.	Caractérisation par microscopie électronique à balayage couplée à une microanalyse X.....	333
9.	Conclusions.....	333
10.	Bibliographie.....	333
CHAPITRE 13. EXPERTISE EN DOCUMENTS		335

1. Introduction.....	335
2. Authentification.....	335
2.1. La contrefaçon.....	335
2.2. La falsification.....	335
2.3. L'obtention indue.....	336
2.4. Les documents fantaisistes.....	336
3. Les documents sécurisés.....	336
3.1. Le support.....	336
3.1.1. Le filigrane.....	337
3.1.2. Les fils de sécurité.....	337
3.1.3. Les fibres colorées ou fluorescentes.....	337
3.1.4. Les planchettes.....	338
3.2. L'impression.....	338
3.2.1. Les techniques d'imprimerie.....	338
3.2.2. Les encres.....	339
3.2.3. Le couchage iridescent.....	340
3.3. Les protections rapportées.....	340
3.4. La personnalisation.....	340
4. Techniques mises en œuvre.....	341
4.1. Les techniques d'observation.....	341
4.1.1. Observation sous grossissement.....	341
4.1.2. Observation spectrale.....	342
4.2. Les techniques d'analyses.....	342
4.2.1. La chromatographie sur couche mince.....	343
4.2.2. La spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier.....	343
4.2.3. La microscopie électronique à balayage.....	344
4.2.4. La spectrométrie Raman.....	344
5. Modus operandi.....	345
5.1. Recherche de contrefaçon.....	345
5.1.1. Documents sécurisés.....	345
5.1.2. Autres documents administratifs.....	348
5.2. Recherche de falsification.....	349
5.2.1. Les mentions variables.....	349
5.2.2. La photographie du titulaire.....	349
5.2.3. La falsification par contrefaçon.....	351
6. Le rôle de l'expert.....	351
7. Conclusion.....	351
8. Bibliographie.....	352

CHAPITRE 14. EXPERTISE EN MATIÈRE D'ATTENTAT NRBC..... 353

1. Introduction.....	353
2. Organisation des réponses aux menaces NRBC.....	353
2.1. Une menace permanente.....	353
2.2. La stratégie de réponse et les doctrines d'intervention.....	354
2.3. De la prévention à l'«intervention préventive».....	354
2.4. Après un attentat : priorité aux secours et à l'enquête.....	355
2.5. Conditions particulières d'intervention des services de police et gendarmerie.....	357
2.6. Constatations judiciaires en zone contaminée par des toxiques de type radiologique, biologique ou chimique (NRBC). 358	
2.7. Les principales missions de la Police judiciaire :.....	359
2.7.1. Intervention en zone contaminée des fonctionnaires en charge des constatations.....	359

2.7.2.	Les constatations et les actes techniques en zone contaminée	360
2.7.3.	La problématique des victimes décédées se trouvant dans la zone d'exclusion.	361
2.7.4.	La sortie de zone : décontamination et déshabillage	361
2.8.	Les autres missions de l'Identité Judiciaire	361
2.8.1.	Identification des impliqués en zone contrôlée :	361
2.8.2.	Identification des impliqués en zone non contaminée :	361
2.8.3.	Soutien logistique et sécurité de l'intervention.....	362
3.	Terrorisme et agression par des toxiques de guerre : Mise en oeuvre de la dosimétrie biologique	362
3.1.	Réponses à un attentat chimique	363
3.2.	Prélèvements	365
3.2.1.	Importance des prélèvements	365
3.2.2.	Echantillons biologiques	365
3.2.3.	Conservation des échantillons.....	366
3.3.	Analyse en laboratoire	367
3.3.1.	Méthodes de préparation / d'extraction.....	367
3.3.2.	Techniques d'identification /Analyseurs	368
3.4.	Dosimétrie des agents chimiques ou de leurs métabolites dans les milieux biologiques	369
3.4.1.	Neurotoxiques organophosphorés	369
3.4.2.	Agents vésicants.....	371
3.4.3.	Autres toxiques	372
4.	Terrorisme et agressions ou actes malveillants biologiques.....	373
4.1.	Plan Pirate NRBC versant Biotox.....	374
4.2.	Agents biologiques potentiels [95 ; 89].....	375
4.2.1.	Diversité des agents biologiques	375
4.2.2.	Exemples d'agents biologiques	376
4.3.	Techniques de dépistage et d'identification des agents de la menace biologique	378
4.3.1.	Détection d'alerte et dépistage sur le terrain	379
4.3.2.	Les prélèvements d'environnement	379
4.3.3.	Les prélèvements biologiques	380
4.3.4.	Emballage, transport des échantillons.....	380
4.3.5.	Procédure d'accueil, d'analyses et de qualité	380
4.4.	Identification des agents biologiques.....	381
4.4.1.	Techniques de dépistage rapide	381
4.4.2.	Diagnostic de confirmation	381
4.5.	Sécurité au laboratoire et manipulation des échantillons	383
5.	Conclusion et perspectives	384
6.	Bibliographie.....	385
CHAPITRE 15. POLICE TECHNIQUE ET SCIENTIFIQUE ET PREUVE NUMÉRIQUE		393
1.	Introduction	393
1.1.	De l'analogique au numérique.....	393
1.2.	Définition de la preuve numérique	394
1.3.	Typologie des supports matériels de la preuve numérique.....	394
1.3.1.	Support sans vocation de stockage de données	394
1.3.2.	Support à vocation de stockage de données	395
1.4.	Typologie des formes immatérielles de la preuve numérique	399
2.	Place de la preuve numérique dans l'enquête judiciaire	400
2.1.	Typologie des enquêtes pour lesquelles la preuve numérique peut s'avérer déterminante	400
2.2.	Acte d'enquête ou expertise judiciaire ?	402
3.	Moyens d'obtention de la preuve numérique, et difficultés y afférant	403
3.1.	Perquisitions et saisies	403
3.1.1.	La preuve numérique peut revêtir de très nombreuses formes	403
3.1.2.	Objets numériques dissimulés aux yeux des enquêteurs.....	403
3.1.3.	Stockage de données à distance.....	404

3.2.	Réquisitions judiciaires	406
3.3.	Interceptions de communications électroniques	407
3.3.1.	Les interceptions légales (En anglais: « lawful interceptions »).....	407
3.3.2.	Les interceptions illégales ou « sauvages »,.....	408
3.3.3.	Les différents types d'interceptions de communications électroniques.....	408
3.3.4.	Résultat de l'interception électronique et rôle de l'expert	408
3.4.	Constatations judiciaires en sources ouvertes.....	409
4.	Le traitement de la preuve numérique	411
4.1.	Extraction et copie des données.....	411
4.2.	Exploitation et interprétation des données	415
5.	Interactions entre preuve numérique et preuve classique.....	419
6.	Les acteurs de la preuve numérique.....	421
6.1.	les acteurs institutionnels	421
6.2.	Les acteurs non institutionnels.....	422
7.	Conclusion	423
8.	Bibliographie	423
CHAPITRE 16. LE TRAITEMENT DU SIGNAL EN CRIMINALISTIQUE		427
1.	Introduction.....	427
2.	L'analyse et le traitement du signal audio	427
2.1.	Les techniques d'amélioration du signal audio	428
2.2.	L'analyse audio des enregistrements de vols	429
2.3.	L'authentification du signal audio	430
2.4.	La reconnaissance de locuteur	431
3.	L'image et la vidéo au sein de la police scientifique	435
3.1.	L'origine des saisines	435
3.2.	Les techniques de traitement d'images.....	436
3.3.	La manipulation de l'image.....	437
3.4.	La reconnaissance faciale	439
3.4.1.	Les méthodes globales	439
3.4.2.	Méthodes locales	440
3.4.3.	Les méthodes hybrides.....	440
3.5.	L'essor de la trois D.....	442
3.6.	Le sondage radar	444
4.	Les nouveaux champs d'application criminelle : réseaux sociaux et monde virtuel.....	445
4.1.	De nouveaux espaces ouverts à la criminalité	445
4.2.	Les moyens de protection à disposition	446
5.	Conclusion	448
6.	Bibliographie	448
CHAPITRE 17. LES SERVICES DE POLICE SCIENTIFIQUE EN EUROPE.....		451
1.	Introduction : les prémisses d'une « police scientifique », l'identité judiciaire.....	451
2.	Des structures différentes découlent de visions divergentes.....	453
2.1.	De l'identité judiciaire à la police scientifique et à la forensique.	453
2.2.	Développements européens hétéroclites.....	454
2.3.	Evolution récente et influence des pays anglo-saxons.....	455

3.	Organe fédérateur et structurant : l'ENFSI – European Network of Forensic Science Institute	457
4.	Conclusion	457
5.	Bibliographie	458
CHAPITRE 18. LA PREUVE SCIENTIFIQUE ET L'INTIME CONVICTION		461
1.	Introduction	461
2.	Historique	461
3.	Le principe de l'intime conviction	462
3.1.	Application du principe.....	462
3.2.	Atténuations de l'intime conviction au principe.....	462
3.2.1.	Les exceptions légales au principe.....	462
3.2.2.	Les atténuations au principe de l'intime conviction.....	463
4.	Les applications pratiques de l'intime conviction	463
4.1.	Au stade de l'instruction préparatoire.....	463
4.2.	L'intime conviction et l'expertise.....	464
4.2.1.	Difficultés d'interprétation de la preuve scientifique.....	464
4.2.2.	L'esprit critique doit demeurer à l'égard de la preuve scientifique.....	465
4.2.3.	Le juge doit maîtriser tous les modes de preuves, y compris la preuve scientifique.....	466
4.2.4.	L'intime conviction évolue-t-elle au gré des progrès de la science?.....	467
4.2.5.	L'absence de motivation des arrêts de la cour d'assises et l'intime conviction.....	468
5.	Conclusion	469
6.	Bibliographie	469
NOTES TECHNIQUES OU PRATIQUES SIMPLIFIÉES		471
1.	Prélèvement de cheveux en vue d'analyse toxicologique	471
1.1.	Mode opératoire.....	471
1.2.	Analyse.....	472
1.3.	Exploitation des résultats.....	473
2.	Xénobiotique : médicaments, toxiques	473
3.	Méthodes séparatives utilisées mais non explicitées aux chapitres 5,6,7,10,11,14	476
3.1.	Extraction Liquide / Liquide (Liquid/Liquid Extraction - LLE).....	476
3.2.	Extraction Liquide/Solide (Liquid/Solid Extraction - LSE).....	476
3.3.	Extraction en Phase Solide (Solid Phase Extraction - SPE).....	476
3.4.	Microextraction en Phase Solide (Solid Phase Microextraction - SPME).....	477
3.5.	Extraction en Phase Fluide Supercritique (Supercritical Fluid Extraction - SFE).....	477
3.6.	Espace de tête (Headspace - HS).....	478
3.7.	Thermodésorption (Thermodesorption - TD).....	479
3.8.	Méthodes chromatographiques.....	479
3.9.	Electrophorèse capillaire (Capillary Electrophoresis - CE).....	480
4.	Méthodes de détection utilisées mais non explicitées aux chapitres 5, 6, 7, 10, 11, 14	481
4.1.	Résonance magnétique nucléaire RMN	481
4.2.	Absorptiométrie Infra Rouge IR.....	481
4.3.	Absorptiométrie Ultraviolet UV /VISIBLE.....	482
4.4.	Spectrométrie de masse.....	482
5.	Fiches techniques pour constatations et actes techniques en zone contaminée	483
5.1.	Fiche A. Reconnaissance.....	483
5.2.	Fiche B. La mission de sectorisation.....	484

5.3.	Fiche C. Recherche et matérialisation des indices.....	484
5.4.	Fiche D. La mission révélation / prélèvement	484
5.5.	Fiche E. Eviter les erreurs d'échantillonnage sur le terrain.....	485