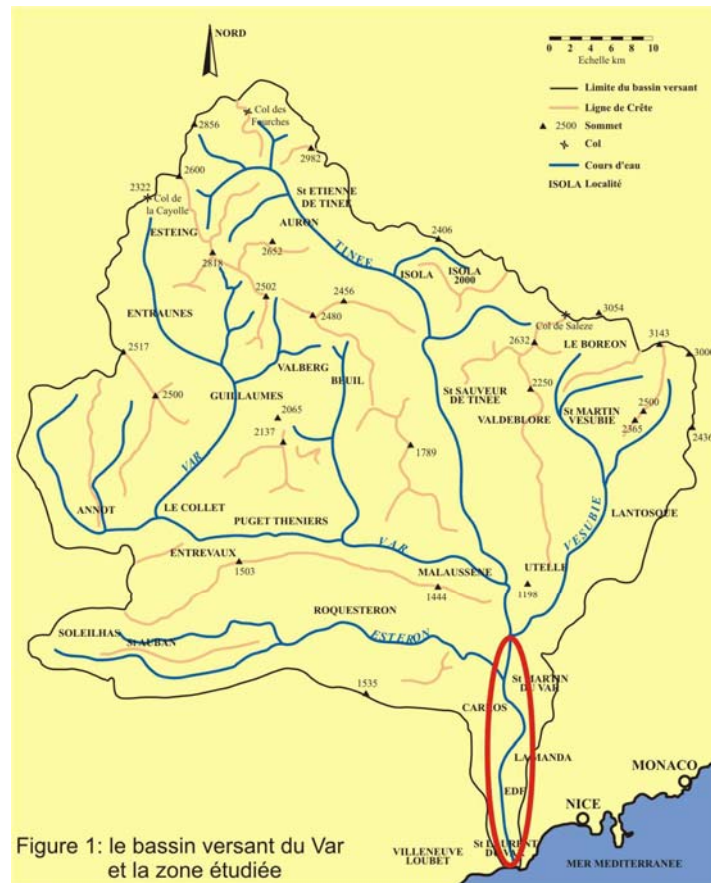


# Fonctionnement chimique et contribution anthropique du système hydrologique du bassin du Var (Alpes Maritimes)



## Résumé

Le projet concerne le **fonctionnement chimique d'un système aquifère (bassin versant du Var, Alpes Maritimes)** au moyen d'une étude géochimique fine des eaux et des sédiments.

Les objectifs principaux sont les suivants :

- Les **transferts** des produits naturels et polluants entre phases liquide et particulaire seront étudiés en détail, en insistant sur les mécanismes qui les favorisent. En effet, ces transferts ont une importance majeure sur la distribution des polluants, et donc sur leur impact environnemental.
- Le système complexe de **nappes phréatiques** fera l'objet d'une étude géochimique en grande partie isotopique, permettant de mieux cerner leurs sources d'alimentation, les interconnexions entre différentes nappes, et les temps de résidences de leurs eaux respectives.
- La **contribution anthropique** sera étudiée au présent et dans l'espace et dans le temps, grâce à l'étude des sédiments qui seront datés par les méthodes isotopiques ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), en comparaison avec les données archivées depuis plusieurs dizaines d'années.

L'originalité du projet réside dans l'étude du comportement des actinides, parallèlement aux métaux lourds, depuis les sols jusqu'aux aquifères. Néanmoins, la caractérisation du milieu et la compréhension de l'ensemble des processus nécessitent la prise en compte d'autres paramètres : éléments majeurs, nutriments, pesticides.

## Le projet

Un bassin versant porte la trace de toute évolution naturelle et anthropique ayant affecté la région.

L'étude géochimique des eaux et des produits solides ou colloïdaux transportés dans l'ensemble du bassin peut être particulièrement performante pour d'une part **comprendre les processus** de transport et d'échanges des différentes composantes naturelles et anthropiques (en solution ou adsorbés sur les particules en suspension) et d'autre part évaluer la **contribution anthropique** au sein du bassin.

En effet, les concentrations en éléments supposés dissous représentent d'une part l'altération des roches (processus naturel mais qui peut avoir une origine anthropique), et d'autre part les apports purement anthropiques: pollution agricole, industrielle, urbaine. Quant aux matières solides ou colloïdales transportées, elles sont issues de l'érosion mécanique des roches. Les perturbations par l'homme de l'environnement naturel ont également un impact majeur sur le flux de matière (déforestation, surpâturage, cultures intensives, urbanisation...), et les taux de dénudation peuvent ainsi être multipliés par 2 à 10.

De plus, l'étude des sédiments déposés le long des rivières permet de remonter à **l'histoire du bassin**, en utilisant les méthodes de datation radiométrique.

Ce projet concerne l'ensemble du bassin versant, mais un effort particulier portera sur la basse vallée du Var (Fig.1), car il s'agit là d'une zone clé qui comporte d'une part une forte pression anthropique, et d'autre part un système complexe de nappes phréatiques largement utilisées pour l'alimentation en eau de la communauté d'agglomération Nice Côte d'Azur (Fig.2a). La communauté d'agglomération et le Conseil Général des Alpes Maritimes sont particulièrement intéressés par cette partie de notre étude.

Il s'agit d'établir un **bilan géochimique, dans le temps et dans l'espace, des eaux de surface et souterraines avec comme objectif de mieux comprendre le fonctionnement d'un système naturel sous influence anthropique, en intégrant les phénomènes de transfert solide/liquide.**

Ce projet est bien sûr ambitieux, et il sera nécessaire d'établir des priorités. Mais il présente l'avantage de réunir des compétences complémentaires dans les disciplines de la chimie, de la géochimie isotopique et des sciences de la Terre, ce qui n'est pas fréquent. Ceci devrait permettre d'aborder avec plus d'efficacité l'étude de certains processus fondamentaux encore mal connus, dans le domaine de l'environnement.

## Pourquoi étudier le bassin versant du Var ?

Le Var est un fleuve relativement exceptionnel pour les raisons suivantes.

- La pente moyenne du bassin est très forte, car on passe d'une zone d'altitude de 2000-3000m, au niveau de la mer en une courte distance de l'ordre de 100-110 km, ce qui est exceptionnel.

- Ceci a pour conséquence une forte érosion du bassin versant, et en particulier, probablement une forte érosion chimique des roches (voir ci-dessous). En effet, son voisin le bassin versant de la Durance figure parmi les fleuves du monde à forte érosion chimique (Alary, 1998).

- Le Var et ses affluents sont peu pollués par rapport à d'autres fleuves et rivières d'Europe occidentale. Ceci représente un avantage pour mieux comprendre les processus relatifs aux deux composantes naturelles et anthropiques, l'un ne masquant pas excessivement l'autre. L'évolution anthropique le long de la basse vallée du Var pourra donc être suivie de manière particulièrement fine.

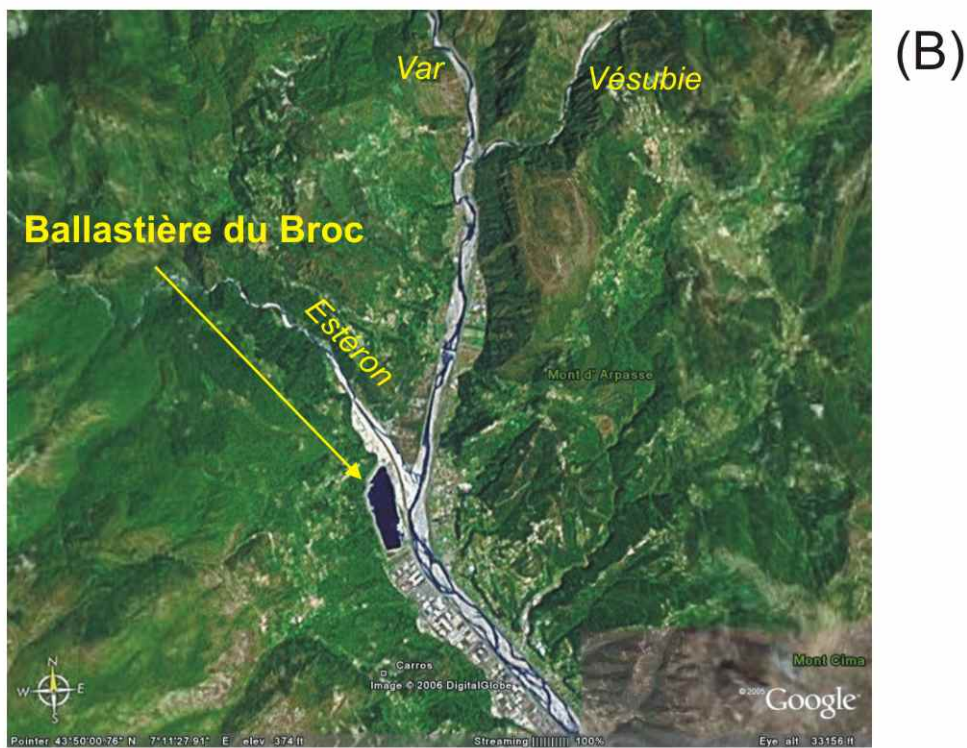
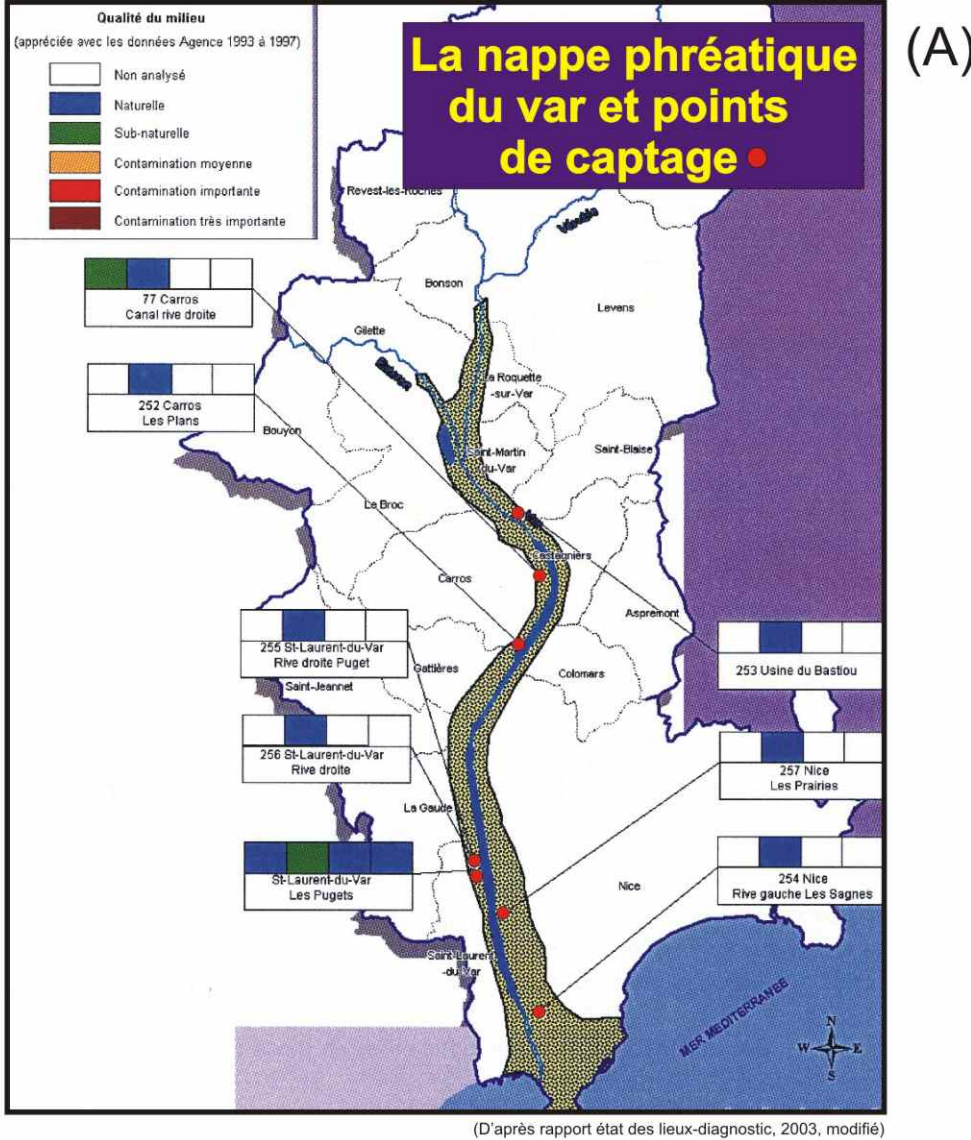


Figure 2: (A) nappe phréatique et captages, (B) ancienne ballastière du Broc

- Le système de nappes phréatiques de la basse vallée du Var s'étend le long de la partie de plus forte pression anthropique, avec d'une part les zones industrielles de Carros et de Saint-Laurent du Var, et d'autre part une occupation urbaine qui se renforce de l'amont vers l'aval. De plus, ce même secteur a vu une population à forte croissance au cours des dernières décennies. C'est un cas de figure idéal pour comprendre les processus relatifs à une contribution anthropique probablement croissante le long d'un système aquifère.
- L'évolution au cours du temps d'une part de la contribution anthropique et d'autre part du taux d'érosion dans l'arrière pays pourra être suivie sur les 30 dernières années grâce, en particulier, aux seuils (barrages, Fig. 7) qui ont piégé des sédiments tout le long de la zone étudiée.
- Enfin, l'accessibilité de la zone d'étude nous permettra un suivi efficace et à moindre frais de l'évolution du bassin. Cette étude servira à tester des approches méthodologiques applicables à d'autres systèmes hydrologiques du monde.

## Les bilans géochimiques

Un bassin versant se définit comme l'aire géographique dans laquelle toute goutte de pluie pénétrant dans la zone, se retrouve (au phénomène d'évaporation près) à l'embouchure du fleuve principal. Ainsi, toute interaction entre l'eau de cette goutte et le milieu naturel traversé (les roches en surface et souterraines, la matière organique), d'une part, et les éléments anthropiques, d'autre part, aura été enregistrée lorsqu'elle parviendra à l'embouchure. En revanche, l'histoire de ces interactions risque d'être complexe, en particulier à cause des échanges entre l'eau et les particules solides (en suspension et dans les sédiments) ou colloïdales, pendant le transport vers l'aval. C'est la raison pour laquelle il est impératif d'étudier dans le détail les mécanismes aux interfaces liquide – solide et liquide – colloïde.

**Spécificité naturelle de chaque sous-bassin versant.** Les eaux entrant dans la basse vallée du Var ont une composition dépendant des terrains traversés en amont. Le bassin du Var est particulièrement intéressant car chaque affluent majeur traverse des terrains aux caractéristiques spécifiques. Ainsi, la Vésubie traverse d'abord les terrains du socle ancien granitique et métamorphique, puis des roches sédimentaires en majorité calcaires. Ceci explique pourquoi la Vésubie montre le plus souvent des eaux claires, peu chargées en particules (Fig. 3 et 4). En revanche, le haut Var traverse essentiellement des roches marneuses facilement érodées, ce qui explique que ses eaux sont facilement boueuses en cas d'orage et à la fonte des neiges. La Tinée traverse l'ensemble de ces roches, et a donc une composition intermédiaire. Enfin, l'Estéron est fortement dépendant des aquifères karstiques dans les calcaires.

- **Les produits dissous** issus de l'altération des roches doivent être parfaitement identifiés, afin d'être pris en compte dans l'évaluation de la contribution anthropique. Par exemple, l'arrière pays a fait l'objet, dans le passé, de prospections et exploitations minières qui montrent que le milieu naturel contient du plomb, du cuivre, de l'arsenic, du zinc, du fer, de l'uranium, etc...(Fig.5) que l'on retrouve dans les eaux du bassin. Prenons l'exemple du plomb : si l'on veut évaluer la contribution anthropique du plomb dans l'eau du Var ou de sa nappe phréatique, il est nécessaire de distinguer le plomb anthropique du plomb naturel. Ceci est rendu possible en mesurant les rapports isotopiques du plomb ( $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  et  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ), qui sont spécifiques à chaque source de plomb (plomb des carburants, des batteries, plomb naturel de la région, etc... : Fig. 6). **L'étude de l'altération chimique naturelle en fonction des terrains traversés et leur bilan permet l'évaluation de la contribution anthropique.**

**VESUBIE** terrains cristallins  
et calcaires  
peu de particulaire

**VAR** dominance terrains  
sédimentaire marneux  
forte charge particulaire

**TINEE** Intermédiaire

**ESTERON** uniquement  
terrains sédimentaires

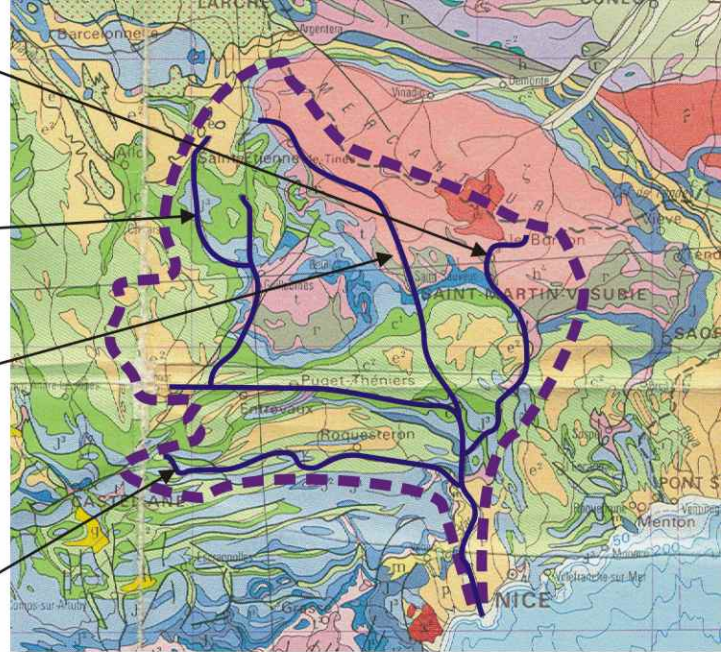


Figure 3: carte géologique du bassin versant

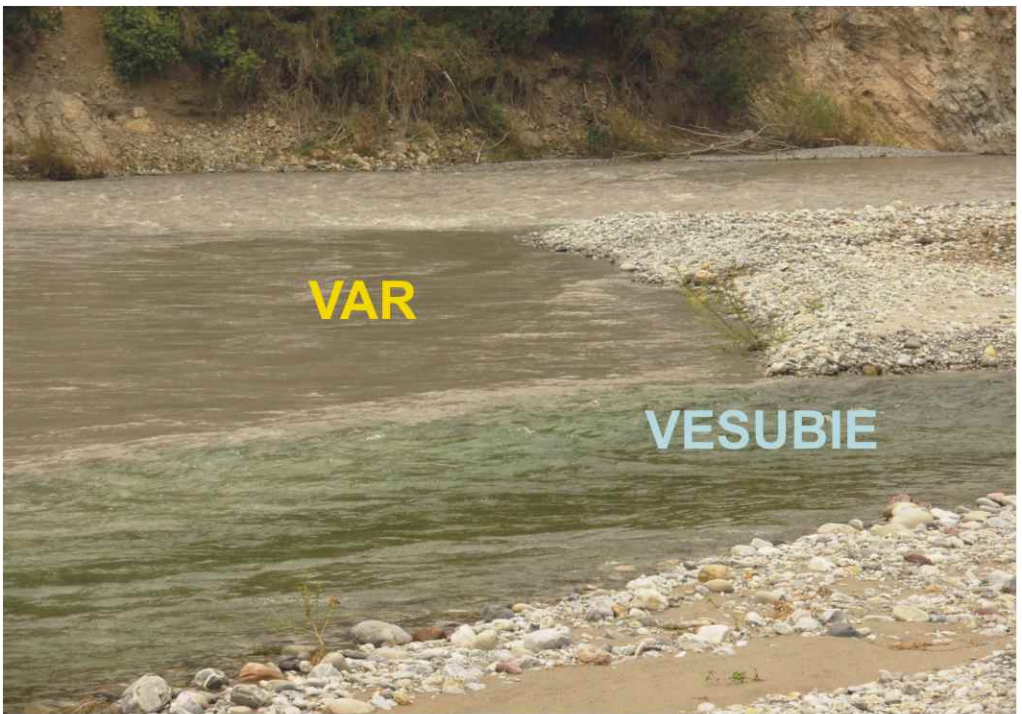


Figure 4: mélange d'eaux très (Var) et peu (Vésubie)  
chargées en particules en suspension

- **Les fractions solides et colloïdales** jouent un rôle majeur dans les bilans chimiques, car certains éléments, comme par exemple les métaux lourds mis en solution dans les eaux des rivières, ont tendance à être adsorbés sur les particules fines en suspension, en particulier les argiles. Il convient donc d'une part de mesurer ces produits adsorbés et d'autre part de comprendre les mécanismes de transfert aux interfaces solide/liquide. En effet, des produits dissous dans une eau transparente vont se fixer aux particules en suspension, si cette eau arrive en contact avec une eau très chargée en particules (eau boueuse). C'est ce qui se passe à la confluence de la **Vésubie et du Var** (Fig. 4), qui est donc un objet naturel privilégié pour étudier ces phénomènes. En conséquence, ces éléments vont se retrouver préférentiellement dans les sédiments du lit du Var (par exemple au niveau des seuils) et dans ceux déposés en mer. La connaissance de ces processus de transfert sera utile à la compréhension des mécanismes de fixation des éléments polluants contenus dans les eaux d'alimentation des nappes phréatiques, lorsqu'elles traversent les alluvions fines. Les isotopes  $^{234}\text{U}$  et  $^{238}\text{U}$  représentent un outil particulièrement performant pour ce type d'étude (voir Rezzoug, 2005, dans le bassin du Var). En effet, la mesure des rapports isotopiques de l'uranium, des concentrations et des débits dans les rivières confluentes permet une évaluation de l'adsorption des matières dissoutes sur les particules

Le rôle de la **matière organique (MO)** est également fondamental dans les milieux naturels. La MO est constituée généralement d'acides humiques et fulviques. Ces acides (présents sous forme dissoute ou particulaire) sont susceptibles d'intervenir dans la spéciation de surface et en solution des contaminants métalliques. En effet, en présence de MO, on peut soit observer une amélioration des interactions surface minérale / contaminant métallique, soit, au contraire, une fixation réduite des contaminants métalliques à la surface. Dans le premier cas, on peut supposer que la matière organique présente des propriétés de surface comparables à celles d'un minéral, alors que, dans le second cas, la MO est compétiteur avec les métaux vis à vis de la surface (soit par une occupation importante des sites de surface, soit par une forte complexation en solution du métal).

## **Quels sont les composants potentiels des eaux de cette zone et leur origine?**

**Les éléments chimiques naturels** sont issus de l'érosion des roches traversées : les composés minéraux dominants donneront des proportions relatives variables, selon les affluents, d'eaux bicarbonatées calciques, d'eaux sulfatées calciques et chlorurées calciques. Les métaux issus des gisements de l'arrière pays (plomb, zinc, arsenic, uranium...) seront également en concentrations variables selon les affluents.

**Les éléments d'origine anthropique** sont progressivement enrichis vers l'aval dans les eaux des rivières. Les sources de pollution potentielle sont les suivantes .

- Agriculture de campagne et périurbaine, professionnelle mais aussi d'amateurs : engrais et pesticides, abondamment utilisés par les particuliers, le long de la basse vallée du Var. Cette remarque s'applique également aux jardins d'agrément qui occupent une surface considérable à flanc de collines. Les fertilisants sont détectés par l'analyse de l'azote (ions nitrate et ammonium), des phosphates et du potassium.
- Urbanisation : Les produits domestiques rejetés sont extrêmement variés, et il faut noter qu'un habitat dispersé est souvent dépourvu de réseau d'assainissement collectif. Il faut aussi remarquer que les stations d'épuration des villages en amont, qui rejettent leurs effluents dans les rivières, laissent passer un certain nombre de produits (par exemple les détergents) et peuvent subir des défaillances. Il existe aussi des décharges sauvages sur l'ensemble du bassin, et des rejets sauvages dans la basse vallée du Var.

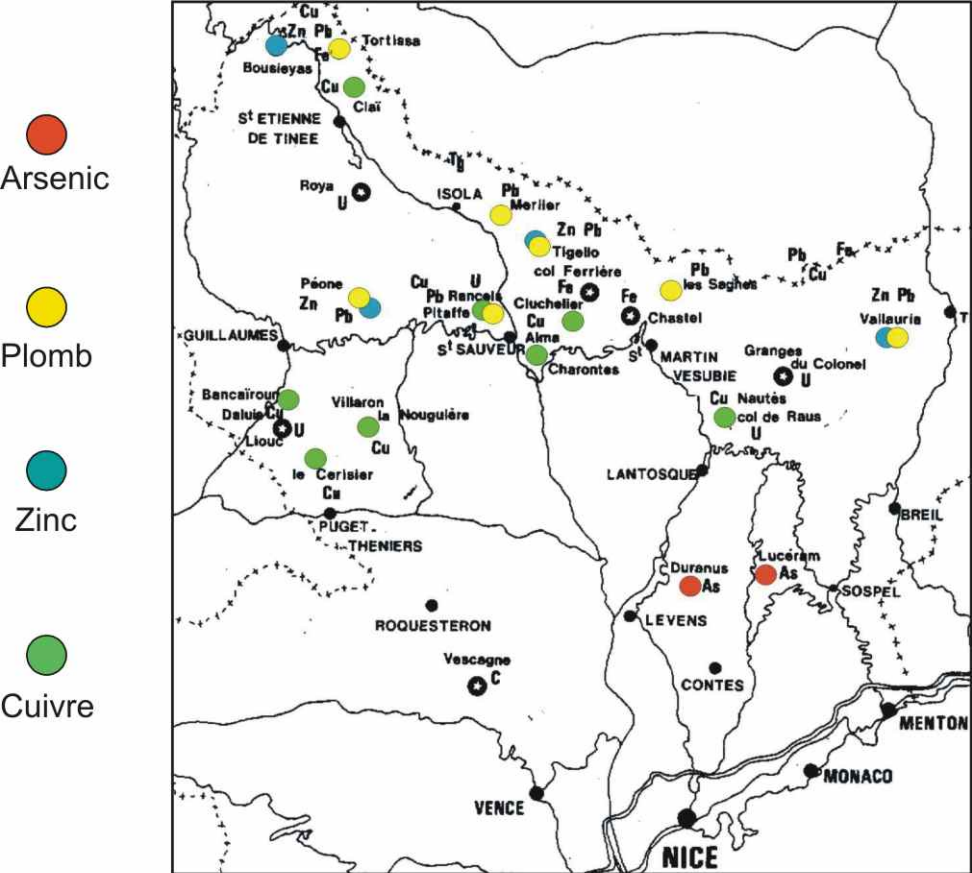


Figure 5: anciennes mines et indices métalliques

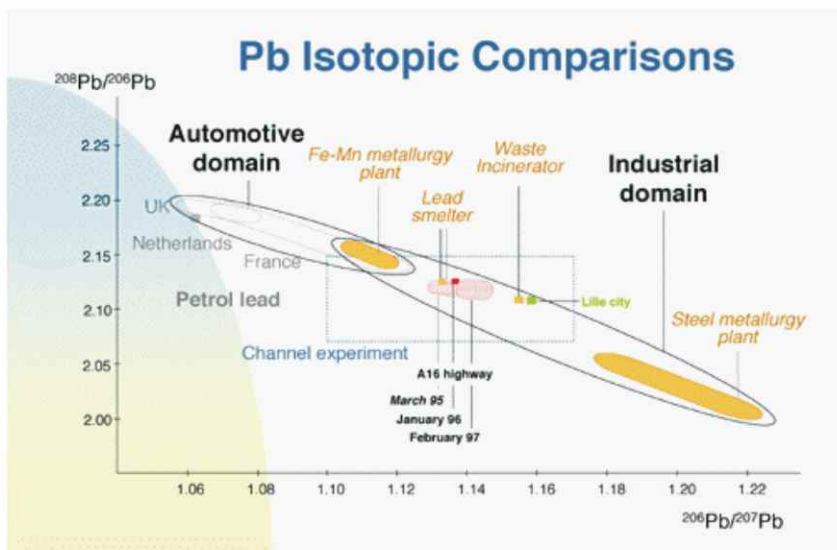


Figure 6: la composition isotopique du plomb est caractéristique de la source

- Pollution industrielle : les zones industrielles de Carros et Saint-Laurent du Var longent la quasi totalité de la zone étudiée. Malgré le raccordement au réseau d'assainissement collectif, on peut s'attendre à une pollution progressive vers l'aval, provenant surtout de petites industries moins facilement contrôlables.

Si certains risques de pollution font l'objet de contrôles réguliers (rejets de stations d'épuration, stockages de déchets, axes routiers, activités industrielles diverses), d'autres, plus diffus, sont mal connus : pollution agricole, industrielle et domestique (rapport SMEBVV, 2003).

## Etude du système de nappes phréatiques

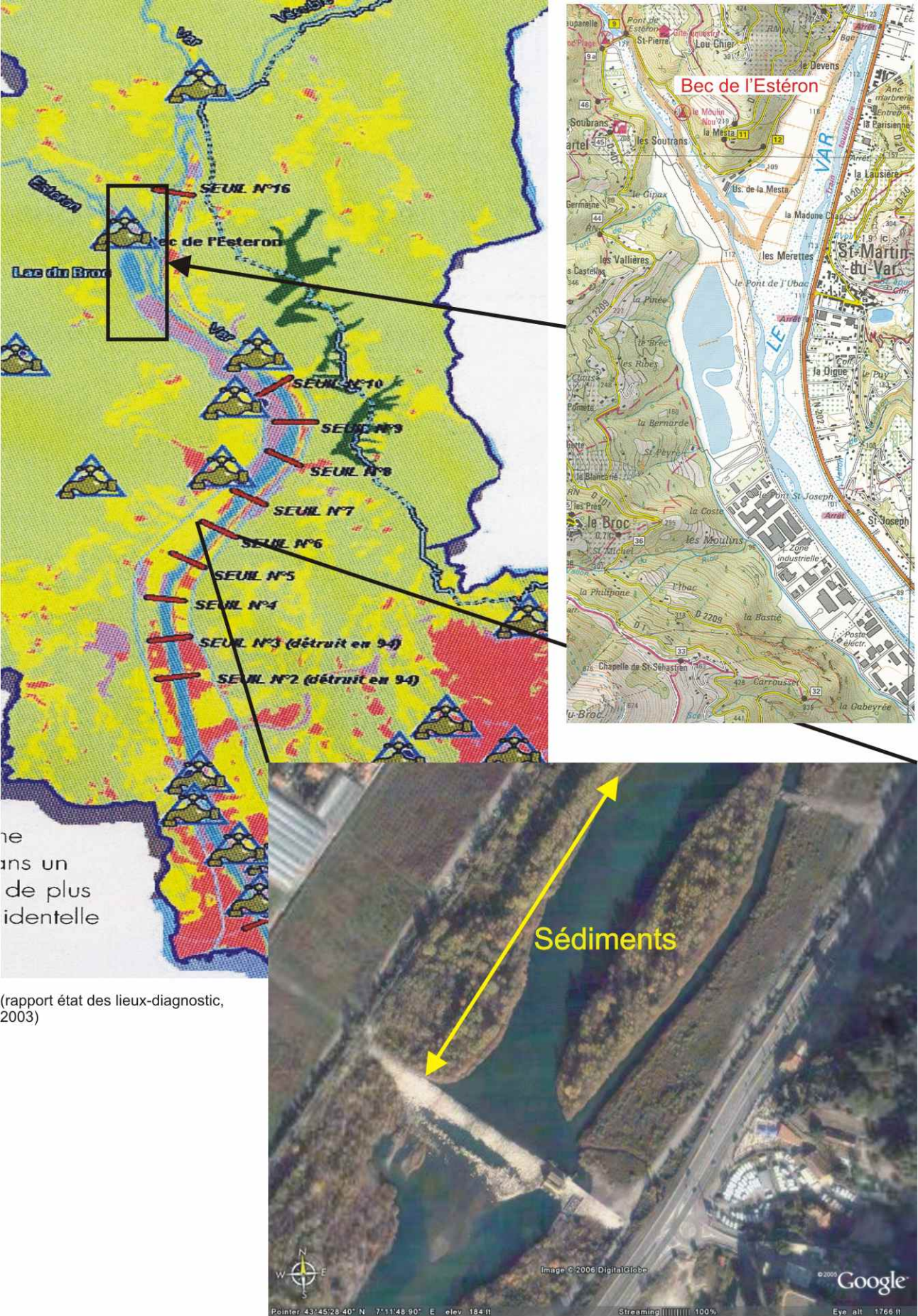
La nappe phréatique est en réalité composée d'un système d'aquifères de plus en plus complexe vers l'aval (Fig. 2) . D'une nappe apparemment unique en amont, reposant sur des calcaires et marnes, le système repose plus en aval sur les poudingues du Var, les calcaires jurassiques ou des marnes (Fig.10), en donnant plusieurs nappes superposées (Guglielmi, 1993) qui pourraient avoir des fonctionnements très différents les uns des autres. Le système de nappes est alimenté de manière complexe, soit dans l'axe du Var, soit par apport latéral (Fig. 9). Trois approches sont envisagées.

(a) Comme cela a été fait précédemment à l'aide des éléments majeurs et des isotopes de l'oxygène (Guglielmi, 1993), la géochimie sur les isotopes de l'Uranium et les éléments traces peut contribuer à mieux cerner l'origine des eaux alimentant les différentes nappes. Par exemple, les rapports  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  sont de bons marqueurs naturels potentiels (voir Rezzoug, 2005 ; Marques et al, 2003) des différentes sources d'alimentation des nappes, grâce aux comportements différentiels de ces deux isotopes pendant le phénomène d'altération des roches (effet de recul de l'isotope  $^{234}\text{U}$ ). De plus, une étude géochimique fine des différentes nappes peut contribuer à mieux cerner la structure du système aquifère et son fonctionnement.

(b) En complément du suivi de la composition des eaux du système de nappes utilisées par la ville de Nice, nous proposons de suivre l'évolution de sa composition de l'amont vers l'aval, c'est-à-dire sous pression anthropique croissante, en concertation avec les pouvoirs publics locaux qui assurent déjà un suivi sur certains éléments.

(c) Nous proposons également de tenter d'évaluer (1) le **temps de résidence de l'eau** dans le système de nappes, c'est-à-dire le temps moyen entre l'entrée et la sortie du système, et (2) les vitesses d'écoulement moyen des nappes. Il est probable que les temps de résidence sont très différents selon la nappe considérée et sa profondeur, et des nappes fossiles pourraient exister. Si la nappe alluviale répond dans un délai de 1 à 2 jours à une crue du Var, il est en revanche envisageable que certaines nappes profondes aient un temps de résidence de plusieurs dizaines ou même centaines d'années. Ces données sont capitales si l'on veut connaître le temps de récupération des nappes **en cas de pollution accidentelle**. En effet, les périmètres de protection autour des captages de la plaine du Var (Fig. 2) sont de plus en plus entourés d'activités urbaines diverses, et l'évolution du système en cas de pollution amont (éventuellement aggravé par une grande sécheresse) est, à notre connaissance, inconnu ! Les isotopes radioactifs naturels, peuvent permettre cette approche. Les isotopes de l'Uranium sont utilisables pour les eaux très anciennes (dizaines de milliers d'années) (Ivanovich et al, 1991) et certains des descendants de l'U et du Th, à demi-vies ( $T_{1/2}$ ) plus courtes, devraient permettre d'aborder des temps de résidence plus courts, de quelques mois à quelques





ne  
ans un  
de plus  
identelle

(rapport état des lieux-diagnostic, 2003)

Figure 7: les 11 seuils de la basse vallée du Var et casiers à sédiments du Bec de l'Estéron

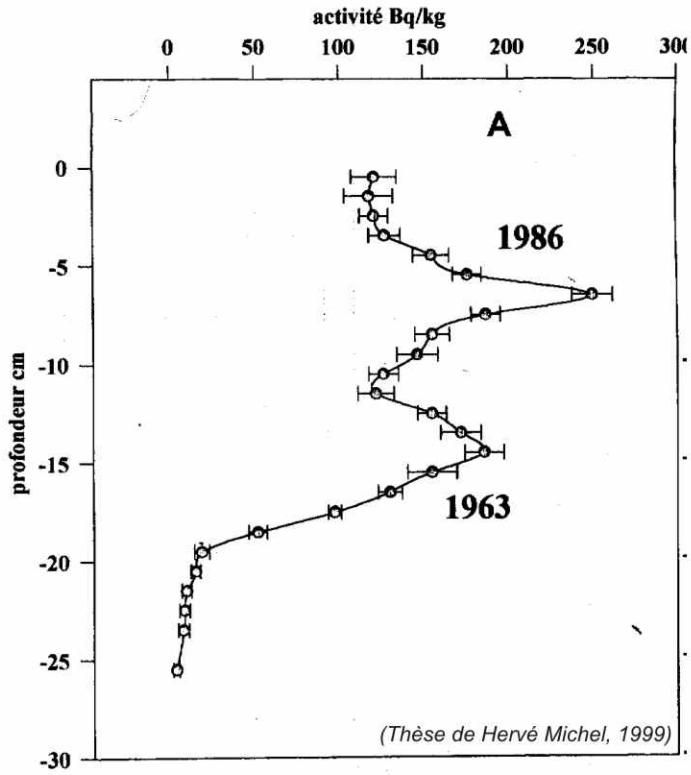


Figure 8: pics de Cesium 137 des essais nucléaires aériens (1963) et de la catastrophe de Tchernobyl (1986) dans un sédiment

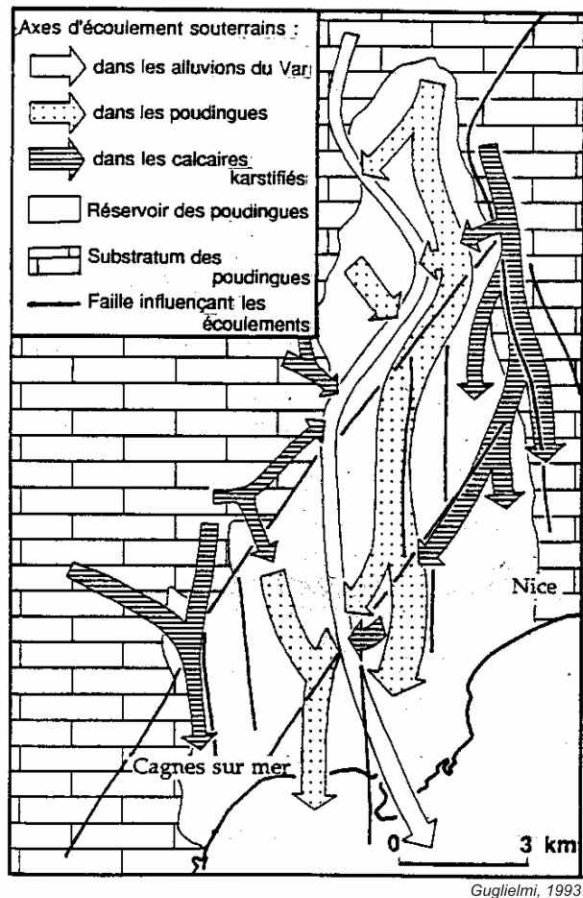


Figure 9: écoulements d'eau souterraine vers et dans la nappe du Var

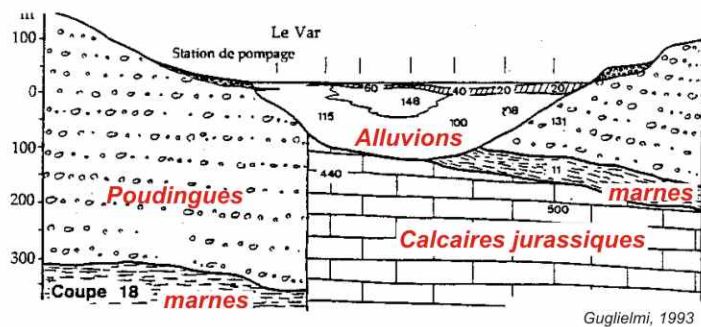


Figure 10: coupe géologique au nord de St Laurent du Var

centaines d'années, ce qui correspond davantage au système étudié. La technique la plus appropriée est d'utiliser au moins deux isotopes radioactifs dont les  $T_{1/2}$  permettent « d'encadrer » le temps de résidence de l'eau de la nappe. Ainsi, nous envisageons d'utiliser le  $^{228}\text{Ra}$  ( $T_{1/2}= 5,75$  ans) et le  $^{224}\text{Ra}$  ( $T_{1/2}= 3,7$  jours) qui proviennent de la décroissance du  $^{232}\text{Th}$ . Pour les aquifères profonds, d'autres isotopes à plus longue période sont envisageables, comme par exemple, le  $^{226}\text{Ra}$  ( $T_{1/2}= 1600$  ans), provenant de l'isotope  $^{238}\text{U}$ . L'utilisation de différents isotopes d'un même élément est un point clé pour cette approche, car les réactions chimiques avec le milieu seront identiques pour chaque chronomètre. Néanmoins, cette approche originale demande une bonne connaissance de l'évolution de l'Uranium dans la phase liquide, afin de s'assurer du fonctionnement en milieu clos du système chronométrique. En particulier, les précipitations d'U en milieu réducteur et de sulfate de Ba, joueront un rôle déterminant pour le bon fonctionnement du chronomètre dans une nappe non ou faiblement régénérée. En outre, le  $^{137}\text{Cs}$ , provenant soit des essais nucléaires aériens, soit de la catastrophe de Tchernobyl, ne se trouvera que dans les nappes dont les eaux sont plus jeunes que 1963 ou 1986 (respectivement).

L'ancienne ballastière du Broc (Fig. 2), qui représente la mise à l'affleurement de la nappe, pourrait constituer un « point zéro » à l'entrée de la basse vallée du Var, si toutefois elle n'est pas elle-même soumise à des facteurs polluants qui lui sont propres.

## Evolution espace – temps de la contribution anthropique

L'évolution de la composition chimique de l'eau peut être abordée par deux approches complémentaires.

**(1) Sur les sédiments** suivants.

(a) **11 seuils** ont été construits dans la basse vallée du Var entre 1971 et 1986 (Fig. 7). Bien qu'assez rapidement remplis, l'étude de leurs sédiments permet de suivre l'histoire du bassin versant et de la contribution anthropique pendant plus de 20 ans.

(b) Dans le secteur du **Bec de l'Estéron**, (confluence Estéron/Var : Fig. 7), la fabrication de casiers (dans les années 60-70 ?) aurait permis l'accumulation de limons (SMEBVV, 2003). qui portent aussi la trace de l'évolution du bassin versant.

(c) Des carottages effectués **sous l'aéroport** permettent de remonter dans le temps à plusieurs milliers d'années. Leur étude géochimique permettrait l'établissement d'un point zéro dans la partie aval.

(d) L'**ancienne ballastière du Broc** (fin d'exploitation 1997) pourrait en revanche contenir des sédiments permettant l'accès à l'histoire récente, en amont de la zone étudiée.

Nous pourrions analyser d'une part les compositions minéralogiques et géochimiques des **sédiments** proprement dits, qui nous renseigneront sur l'évolution de l'érosion mécanique du bassin, et d'autre part les **éléments adsorbés sur les particules fines, qui nous indiqueront l'évolution de la contribution anthropique**. L'ensemble des coupes étudiées d'amont en aval nous permettra de cerner l'évolution de la contribution anthropique au fur et à mesure que la pression anthropique augmente. Des coupes pratiquées dans les sédiments en mer près de l'embouchure compléteront l'ensemble.

**Le calage dans le temps** se fera à l'aide de deux isotopes. Le  $^{210}\text{Pb}$  ( $T_{1/2}= 22,3$  ans) (voir par exemple Jha et al, 1999) est un isotope naturel issu du  $^{222}\text{Rn}$ , lui-même produit par l' $^{238}\text{U}$  des roches, apporté dans le sédiment au moment du dépôt, par la pluie à partir de l'atmosphère. Sa décroissance radioactive entraîne sa diminution au fur et à mesure que l'on descend en profondeur dans la coupe étudiée. Le  $^{137}\text{Cs}$  ( $T_{1/2}= 30,2$  ans) permet un repère très précis grâce à son ou ses pics enregistrés dans les sédiments, comme le montre la Fig. 8.

**(2) Sur les archives de données disponibles.** Il existe des analyses sur les eaux du Var et ces affluents à notre connaissance depuis au moins 1972, en éléments majeurs (Na, K, Cl, .....), en éléments traces (As, Cd, Pb, ..), en pesticides, en produits organiques, en charge particulaire, etc.... L'étude détaillée de ces archives devrait permettre une comparaison avec les données obtenues sur les sédiments (comparaison produits dissous et adsorbés).

## Les intervenants

Les intervenants principaux sont des chercheurs et enseignants chercheurs des laboratoires de Radiochimie, Sciences Analytiques et Environnement (LRSAE, équipe d'accueil EA1175 : G. Barci-Funel, V. Barci, J-F Gal, Ch. Hurel, C. Lomenech, P.-Ch. Maria, N. Marmier, H. Michel, N. Sauret), Géosciences Azur (UMR6526 : G. Féraud, Y. Guglielmi, U. Schärer) de l'Université de Nice – Sophia Antipolis, qui pourront apporter leurs compétences complémentaires dans les domaines, de la radiochimie, de la géochimie isotopique, de la géochronologie, des processus de transfert aux interfaces liquide/solide (et leur modélisation), des pesticides, de la matière organique, de l'hydrogéologie, etc...)

## Aspects méthodologiques et instruments utilisés

Les analyses et mesures porteront principalement sur :

- + les ions majeurs des eaux :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$
- + les éléments traces : As, Cd, Pb, Cu, Zn, U, etc...
- + les isotopes, de l'uranium et du radium, le et les isotopes stables du plomb
- + les nutriments :  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$
- + des pesticides typiques
- + la matière organique (acides humiques et fulviques)
- + le pH, la capacité complexante, etc...

On distinguera les produits adsorbés sur les particules, associés aux colloïdes et dissous.

Cette étude nous donnera l'opportunité de tester certaines approches méthodologiques et d'établir des comparaisons entre différentes techniques. Par exemple, les rapports isotopiques du Pb et de l'U seront mesurés par spectrométrie de masse à thermo-ionisation et ICP-MS, les rapports isotopiques du Ra seront mesurés par spectrométrie gamma et ICP-MS. Ainsi, une validation de ces mesures par ICP-MS représenterait un gain de temps considérable (voir Magara et al, 2002). En revanche, certaines analyses effectuées en routine par des laboratoires spécialisés extérieurs ne seront pas assurées par nos soins.

### Appareillages utilisés

:

- un spectromètre de masse ICP/MS (Perkin-Elmer ELAN II) équipé par une chromatographe en phase liquide, permettant l'analyse d'éléments à l'état de traces (en très faible concentration) et leur spéciation (forme chimique déterminant leur dangerosité) : As, Cd, Cu, Zn, etc..., et les isotopes du Pb et U ; de plus, il permet une analyse multiélémentaire, ce qui représente un gain de temps considérable ,
- une salle blanche de classe 99,99%,
- un spectromètre d'émission optique ICP-AES (Laboratoires d'enseignement) peut aussi permettre un « screening » des éléments qui ne nécessitent pas les performances de l'ICP/MS (majeurs, Fe, Zn, Cu, ...selon leurs concentrations),
- deux spectromètres de masse à thermo ionisation permettant la mesure précise des rapports isotopiques du Pb et de l'U,
- un système de comptage alpha, permettant l'analyse des isotopes de l'uranium et du radium ( $^{226}\text{Ra}$ ),
- un système de spectromètre gamma pour la mesure du radium et du  $^{137}\text{Cs}$ , et du  $^{210}\text{Pb}$ ,
- un système de spectromètres bêta pour la mesure du  $^{228}\text{Ra}$ ,

- les nutriments et certains pesticides peuvent être analysés soit dans nos laboratoires, soit dans d'autres laboratoires mieux adaptés à ce type d'analyses en routine.

## Références citées

- Alary C. (1998). Mécanismes et bilans de l'érosion dans un bassin versant méditerranéen aménagé : le cas de la Durance (S-E France). Thèse Université Aix – Marseille III.
- Etat des lieux-diagnostic, SAGE nappe et basse vallée du Var, SMEBVV, 2003.
- Guglielmi Y. (1993). Hydrologie des aquifères plio-quadernaires de la basse vallée du Var. Thèse Université d'Avignon.
- Ivanovich M., Fröhlich K. and Hendry M.J. (1991). Uranium-series radionuclides in fluids and solids, Milk River aquifer, Alberta, Canada. *Applied Geochemistry*, 6: 405-418.
- Jha S.K., Krishnamoorthy T.M., Pandit G.G. and Nambi K.S.V. (1999). History of accumulation of mercury and nickel in Thane Creek, Mumbai, using <sup>210</sup>Pb dating technique. *Sc. Total Environment*, 236: 91-99.
- Magara M., Sakakibara T., Kurosawa S., Takahashi M., Sakurai S., Hansawa Y., Esaka F., Watanabe K. and Usuda S. (2002). Isotope ratio measurement of Uranium in Safeguards environmental samples by inductively-coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).
- Marques A., Al-Gharib I., Bernat M. and Frenex F. (2003). Uranium and thorium isotopes in the rivers of the Amazonian basin: hydrology and weathering processes. *Hydrological Processes*, 17: 17-31.
- Rezzoug S. (2005). Utilisation d'isotopes naturels des familles de <sup>238</sup>U et de <sup>232</sup>Th pour une étude environnementale. Impact des retombées atmosphériques du <sup>137</sup>Cs dans des sols forestiers et des sédiments lacustres : application à l'étude d'une zone alpine (Boréon, Mercantour, S.E. France). Thèse Université de Nice-Sophia Antipolis.