

CENTRALE NUCLÉAIRE DE TIHANGE RAPPORT DES TESTS DE RÉSISTANCE

Évaluation complémentaire
de la sûreté des installations nucléaires
31 octobre 2011



Electrabel
GDF SUEZ

0	↘ CONTEXTE	
	01 Sûreté des centrales nucléaires belges	p. 8
	02 L'accident de Fukushima Daiichi et son impact sur les évaluations de sûreté en Europe	p. 9
	0.2.1. La position du Conseil européen 0.2.2. Les spécifications de WENRA et ENSREG relatives aux « tests de résistance » 0.2.3. Les spécifications des tests de résistance de l'Agence Fédérale Belge de Contrôle Nucléaire 0.2.4. La position d'Electrabel	
03 Bases de conception et sûreté	p. 11	
	0.3.1. Lors de la conception initiale 0.3.2. Depuis la conception initiale – Les Révisions Périodiques de Sûreté	
1	↘ DESCRIPTION DU SITE DE TIHANGE	
	1 Introduction	p. 20
	11 Généralités	p. 22
	12 Spécificités	p. 24
	1.2.1. Îlots nucléaires 1.2.2. Piscines d'entreposage des assemblages de combustible utilisé	
	13 Enceintes de confinement	p. 35
	14 Alimentations électriques	p. 36
	1.4.1. Généralités 1.4.2. Tihange 1 1.4.3. Tihange 2 et 3	
	15 Alimentations en eau de refroidissement	p. 39
	1.5.1. Tihange 1 1.5.2. Tihange 2 et 3 1.5.3. Site	
16 Études PSA	p. 41	
17 Glossaire	p. 42	
2	↘ SÉISME	
	2.1 Séisme de dimensionnement	p. 50
	2.1.1. Séisme pour lequel l'installation est dimensionnée 2.1.2. Dispositions de protection des installations face au séisme de référence 2.1.3. Conformité des installations à leur référentiel actuel	
	2.2 Évaluation des marges	p. 75
2.2.1. Niveau de séisme auquel la centrale peut résister sans dommage au combustible 2.2.2. Intensité sismique menaçant l'intégrité du confinement 2.2.3. Séismes supérieurs au séisme de conception et inondations résultantes		

3

INONDATIONS

3	Introduction	p. 90
3.1	Bases de conception	p. 92
	3.1.1. Risque d'inondation du site par la Meuse	
	3.1.2. Risque d'infiltration par remontée de la nappe phréatique	
3.2	Évaluation des marges	p. 96
	3.2.1. Mesures de protection prises pendant la phase d'avertissement d'une crue hors conception	
	3.2.2. Description de la progression de l'inondation	
	3.2.3. Description des conséquences de l'inondation sur les équipements	
	3.2.4. Points faibles et effet falaise	
	3.2.5. Crue et conditions météorologiques extrêmes	
	3.2.6. Mesures qui peuvent être envisagées pour augmenter la robustesse du site	

4

PHÉNOMÈNES NATURELS EXTRÊMES

4	Introduction	p. 116
4.1	Fortes pluies	p. 116
	4.1.1. Caractérisation des pluies torrentielles	
	4.1.2. Base de conception	
	4.1.3. Analyse	
	4.1.4. Conclusion	
4.2	Vents violents	p. 118
	4.2.1. Caractérisation des vents violents	
	4.2.2. Base de conception	
	4.2.3. Analyse	
	4.2.4. Conclusion	
4.3	Tornades	p. 120
	4.3.1. Caractérisation des tornades	
	4.3.2. Base de conception	
	4.3.3. Analyse	
	4.3.4. Conclusion	
4.4	Foudre	p. 123
	4.4.1. Caractérisation de la foudre	
	4.4.2. Base de conception	
	4.4.3. Analyse	
	4.4.4. Conclusion	
4.5	Effets de la neige	p. 123
	4.5.1. Caractérisation des chutes de neige	
	4.5.2. Base de conception	
	4.5.3. Analyse	
	4.5.4. Conclusion	
4.6	Grêle	p. 125
4.7	Autres conditions climatiques extrêmes	p. 125
	4.7.1. Températures extrêmes	
	4.7.2. Cyclone tropical, typhon, ouragan	
	4.7.3. Tempête de sable ou de poussière	
	4.7.4. Trombe marine	

5



PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES PERTE DES SOURCES FROIDES

- 5 Introduction** p. 132
- 5.1 Pour les réacteurs nucléaires** p. 137
 - 5.1.1. Perte des alimentations électriques externes
 - 5.1.2. Perte des alimentations électriques externes et des alimentations internes de secours
 - 5.1.3. Perte des alimentations électriques externes, de l'alimentation interne de secours et de toute autre alimentation de secours
 - 5.1.4. Perte de la source froide principale (accès à l'eau de Meuse)
 - 5.1.5. Perte de la source froide principale et de la source froide « alternative »
 - 5.1.6. Perte de la source froide principale combinée à la perte des alimentations électriques externes et internes du premier niveau
 - 5.1.7. Perte de la source froide principale combinée à une perte des alimentations électriques externes, de l'alimentation interne de secours et de toute autre alimentation de secours
 - 5.1.8. Perte de la source froide principale et des alimentations électriques externes, combinée à un séisme DBE
- 5.2 Pour le combustible utilisé des piscines du bâtiment combustible** p. 180
 - 5.2.1. Perte des alimentations électriques externes
 - 5.2.2. Perte des alimentations électriques externes et des alimentations internes de secours
 - 5.2.3. Perte des alimentations électriques externes, de l'alimentation électrique interne de secours et de toute autre alimentation de secours
 - 5.2.4. Perte de la source froide principale (accès à l'eau de la Meuse)
 - 5.2.5. Perte de la source froide principale et perte de la source froide ultime alternative
 - 5.2.6. Perte de la source froide principale combinée à la perte des alimentations électriques externes et internes du premier niveau
 - 5.2.7. Perte de la source froide principale combinée à une perte des alimentations électriques externes, de l'alimentation interne de secours et de toute autre alimentation de secours
 - 5.2.8. Perte de la source froide principale et des alimentations électriques externes, combinée à un séisme DBE

6



GESTION DES ACCIDENTS GRAVES

- 6 Introduction** p. 186
- 6.1 Organisation de l'exploitant pour gérer l'accident et les perturbations possibles** p. 186
 - 6.1.1. Organisation prévue
 - 6.1.2. Perturbations possibles vis-à-vis des mesures envisagées et gestion associée pour gérer les accidents
- 6.2 Pour les réacteurs nucléaires** p. 202
 - 6.2.1. Perte du refroidissement du cœur : mesures actuelles de gestion des accidents
 - 6.2.2. Mesure de gestion des accidents et éléments de conception pour la protection de l'intégrité du confinement après l'endommagement du combustible
 - 6.2.3. Mesures actuelles de gestion des accidents pour minimiser les conséquences d'une perte d'intégrité du confinement
 - 6.2.4. Mesures actuelles de gestion des accidents pour revenir à un état stable et contrôlé
- 6.3 Pour l'entreposage du combustible utilisé** p. 228
 - 6.3.1. Mesures de gestion des conséquences d'une perte de la fonction de refroidissement de l'eau des piscines
 - 6.3.2. Points particuliers

7

SYNTHÈSE ET PLAN D'ACTION

7	Introduction	p. 236
7.1	Démarche d'Electrabel	p. 237
	7.1.1. Organisation et méthodologie	
	7.1.2. Premières améliorations des installations	
7.2	Résultats des évaluations	p. 238
	7.2.1. Séisme	
	7.2.2. Inondation et phénomènes naturels extrêmes	
	7.2.3. Perte des alimentations électriques et des sources froides	
	7.2.4. Organisation de crise et gestion des accidents graves	
7.3	Calendrier des actions	p. 241

0

CONTEXTE



- 0.1 Sûreté des centrales nucléaires belges** p. 8

- 0.2 L'accident de Fukushima Daiichi et son impact sur les évaluations de sûreté en Europe** p. 9
 - 0.2.1. La position du Conseil européen
 - 0.2.2. Les spécifications de WENRA et ENSREG relatives aux « tests de résistance »
 - 0.2.3. Les spécifications des tests de résistance de l'Agence Fédérale Belge de Contrôle Nucléaire
 - 0.2.4. La position d'Electrabel

- 0.3 Bases de conception et sûreté** p. 11
 - 0.3.1. Lors de la conception initiale
 - 0.3.1.1. Unités de Doel 1/Doel 2 et de Tihange 1
 - 0.3.1.1.1. Les barrières multiples
 - 0.3.1.1.2. Les dispositifs de sauvegarde
 - 0.3.1.1.3. La « défense en profondeur »
 - 0.3.1.1.4. La double enceinte de confinement
 - 0.3.1.1.5. La redondance
 - 0.3.1.1.6. Les accidents « de conception »
 - 0.3.1.2. Unités de Doel 3/Doel 4 et de Tihange 2/Tihange 3
 - 0.3.2. Depuis la conception initiale – Les Révisions Périodiques de Sûreté

Sûreté des centrales nucléaires belges



Sept réacteurs nucléaires du type PWR « Pressurized Water Reactor » ont été construits sur le territoire belge. Toutes ces unités sont exploitées par ELECTRABEL depuis leur mise en service industrielle, la première d'entre elles l'ayant été en février 1975.

La conception initiale de ces installations a été basée sur les normes de sûreté de la Commission de Régulation Nucléaire des États-Unis (*Nuclear Regulatory Commission – USNRC*), qui étaient à l'époque les normes les plus cohérentes et appropriées pour ce type de réacteurs.

Dans ce cadre, le concept de « défense en profondeur » était (et est toujours) une des pièces essentielles de la philosophie de sûreté. La défense en profondeur, décrite plus en détail ci-après, est une approche de la conception et de l'exploitation des installations nucléaires qui vise à empêcher la survenance ou réduire les conséquences des accidents susceptibles de conduire à un rejet de substances radioactives.

En conformité avec le concept de défense en profondeur, l'objectif à long terme d'Electrabel en matière d'exploitation des centrales nucléaires est double :

- avant tout, empêcher la survenance d'accidents (politique de prévention) ;
- ensuite, dans l'hypothèse où les mesures préventives successives seraient défailtantes et le confinement des produits radioactifs ne serait plus assuré, limiter les rejets de ceux-ci dans l'environnement.

Depuis le début de la conception et de l'exploitation de ses unités, Electrabel s'est en conséquence efforcé d'atteindre l'excellence en termes d'exploitation, tout en accordant une priorité particulière à la sûreté nucléaire. En vue d'atteindre ces objectifs, des exigences et des lignes d'action ont été développées et intégrées dans la gestion des centrales en général, en couvrant tous les processus qui ont une influence sur leur niveau de sûreté. On perd d'ailleurs trop souvent de vue que ce niveau ne dépend pas que de la seule conception des installations et des systèmes. L'organisation, les procédures d'exploitation, la culture de sûreté et le comportement humain jouent également un rôle capital à cet égard.

Au fil du temps, des améliorations ont été apportées à tous ces éléments, compte tenu des retours d'expérience qui sont essentiels en la matière. En plus de cette préoccupation continue, des Révisions Périodiques de Sûreté sont réalisées tous les dix ans conformément aux règles et lignes directrices de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et des Autorités belges. Il est intéressant de souligner ici que la Belgique fut parmi les pionniers à introduire des Révisions Périodiques de Sûreté pour ses centrales.

L'accident de Fukushima Daiichi et son impact sur les évaluations de sûreté en Europe



L'analyse des conséquences de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, consécutif au séisme survenu au Japon le 11 mars 2011, ne peut être considérée comme complètement terminée à ce jour et toutes les causes n'ont pas encore été éclaircies en détail. Il en découle que toutes les leçons de cet accident n'ont pas encore été tirées.

Il est cependant permis de dire dès à présent que cet accident, comme les accidents majeurs qui l'ont précédé (notamment Three Mile Island en 1979 et Tchernobyl en 1986), sera intégré dans le retour d'expérience en vue de s'assurer que les enseignements seront identifiés et que les actions seront prises pour améliorer encore, sur cette base, la sûreté nucléaire des centrales en exploitation.

0.2.1. La position du Conseil européen

Suite à l'accident de Fukushima, le Conseil européen des chefs d'État et de Gouvernement, en sa réunion des 24 et 25 mars 2011, a pris la décision suivante :



... Le Conseil européen souligne qu'il est nécessaire de tirer tous les enseignements de ces événements et de fournir au public toutes les informations nécessaires. Rappelant que le choix des différentes formes d'énergie relève de la compétence des États membres, il demande que des travaux soient entrepris en priorité dans les domaines suivants : il convient de vérifier la sûreté de toutes les installations nucléaires de l'UE, sur la base d'une évaluation globale et transparente des risques et de la sûreté (« tests de résistance ») ; le Groupe des régulateurs européens dans le domaine de la sûreté nucléaire (ENSREG) et la Commission sont invités à définir le plus rapidement possible l'étendue et les modalités de ces tests dans un cadre coordonné, à la lumière des enseignements tirés de l'accident qui s'est produit au Japon et avec la pleine participation des États membres, en tirant pleinement parti de l'expertise disponible (notamment celle de l'Association des responsables des autorités de sûreté nucléaire des pays de l'Europe de l'Ouest, WENRA) ; les évaluations seront menées par des autorités nationales indépendantes et dans le cadre d'une évaluation par les pairs ; leurs résultats et toute mesure nécessaire qui sera prise par la suite devraient être communiqués à la Commission et aux membres de l'ENSREG et rendus publics ; le Conseil européen évaluera les premières conclusions à la fin de 2011, en se fondant sur un rapport présenté par la Commission... ”

0.2.2. Les spécifications de WENRA et ENSREG relatives aux « tests de résistance¹ »

Au cours de leur réunion plénière des 22 et 23 mars 2011, les membres de WENRA décidèrent de donner une définition technique des tests de résistance et d'indiquer comment ceux-ci devraient être

1. Traduction, par le Conseil européen, de l'anglais « stress tests ».

appliqués aux centrales nucléaires en Europe. Cette décision conduisit aux « spécifications des tests de résistance » par une task force WENRA. Plusieurs versions de ces spécifications furent éditées et, en attente des spécifications définitives, la version datée du 21 avril 2011 fut utilisée par Electrabel comme point de départ pour la réalisation de ses tests de résistance.

Dans ce document, ceux-ci sont définis comme une réévaluation ciblée des marges de sécurité des centrales nucléaires à la lumière des événements survenus à Fukushima, c'est-à-dire de phénomènes naturels extrêmes mettant en péril les fonctions de sûreté des centrales et conduisant à un accident grave.

Les documents de WENRA furent utilisés comme base pour les spécifications publiées par ENSREG le 13 mai 2011. Ces dernières furent entérinées par le Commissaire européen Oettinger le 24 mai et sont utilisées en Europe comme référence en vue de réaliser les tests de résistance demandés au plus haut niveau politique européen.

0.2.3. Les spécifications des tests de résistance de l'Agence Fédérale belge de Contrôle Nucléaire

Le 4 juillet 2011, l'Agence fédérale belge de contrôle nucléaire (AFCN; ci-après l'Agence) a publié la version définitive des spécifications pour les tests de résistance applicables aux réacteurs nucléaires belges. Ce document fut entériné par le Parlement belge et est considéré par l'Agence comme une analyse complémentaire de sûreté s'inscrivant dans le cadre des Révisions Périodiques de Sûreté dont il a été question plus haut.

Le document de l'Agence est basé sur les spécifications ENSREG, mais, par rapport à ces dernières, contient l'obligation de prendre en compte des événements initiateurs supplémentaires, à savoir des attaques terroristes (chute d'avion) et d'autres événements du fait de l'homme (nuages de gaz toxiques et explosifs, attaque sur les systèmes et contrôles informatiques).

0.2.4. La position d'Electrabel

En sa qualité de titulaire du permis d'exploiter, Electrabel est responsable de la sûreté de ses installations nucléaires. Par voie de conséquence, la société doit s'assurer que ses centrales sont réévaluées à la lumière des événements qui se sont produits à Fukushima.

Le respect des exigences de l'Agence, telles qu'exprimées dans le document dont il est question au paragraphe 0.2.3, constitue une étape importante à cet égard.

Bases de conception et sûreté

0.3.1. Lors de la conception initiale

Avant d'être une réalité, toute installation industrielle, quelle qu'elle soit, fait l'objet d'études de conception, qui peuvent s'étaler sur plusieurs années. Ce constat est particulièrement vrai pour des unités nucléaires, dont les études de conception ont la particularité d'intégrer dès le départ des analyses de sûreté particulièrement importantes. On ne perdra pas de vue, à cet égard, que les études de sûreté dont question ici se sont déroulées, pour le parc nucléaire belge, entre la deuxième moitié des années 1960 et le début des années 1980.

Tous les réacteurs nucléaires ont donc été conçus pour supporter de multiples incidents sans que ceux-ci n'en perturbent le fonctionnement normal de manière significative. Ils peuvent également faire face à différents accidents de plus ou moins grande ampleur, dus eux-mêmes à des « événements initiateurs ». Dans ce contexte, un événement initiateur est un événement imprévu, soudain et indépendant de la volonté de l'homme. Son origine peut être interne à l'installation (par exemple, une rupture de tuyauterie) ou externe à celle-ci (explosion sur le site d'une nappe de gaz dérivante), naturelle (séisme) ou du fait de l'homme (chute d'un avion). Faire face signifie ici qu'en cas de survenance de l'événement initiateur et de l'accident qui en découle, le réacteur peut soit continuer à être exploité normalement, soit être mis à l'arrêt sûr sans conséquences dommageables aux personnes ou à l'environnement ou, en tout cas, en minimisant ces conséquences. Ces accidents font partie des « bases de conception » des installations. Celles-ci permettent, en définitive, de juger de la robustesse de cette installation, c'est-à-dire de son aptitude à faire face à des événements imprévus de nature accidentelle et peuvent être évolutives dans le temps, dans la mesure où des accidents nouveaux peuvent être pris en compte ou parce que les caractéristiques des accidents initialement pris en compte peuvent être revues en fonction de nouvelles connaissances ou du retour d'expérience des autres réacteurs en exploitation.

La lecture de ce rapport montrera que la sûreté des réacteurs nucléaires doit être envisagée dans une perspective dynamique qui découle de l'objectif poursuivi par les exploitants, de lui donner, à tout moment, le niveau le plus élevé possible compte tenu de l'état de la réglementation et des connaissances ainsi que du retour d'expérience.

0.3.1.1. Unités de Doel 1/Doel 2 et de Tihange 1

Les procédures d'approbation et de contrôle relatives à la sûreté des premières unités nucléaires belges étaient spécifiées dans l'arrêté royal du 28 février 1963 – pris en application d'une loi du 29 mars 1958 relative à la protection de la population contre les dangers résultant des radiations ionisantes – portant sur le règlement général de la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes et ses modifications ultérieures.

Cet arrêté constituait alors la base juridique du régime de déclaration et d'autorisation obligatoires pour les unités nucléaires de production d'électricité. Il est important de noter que cet arrêté n'inclut, sur le plan technique, que des dispositions en matière de radioprotection. Les autres disciplines techniques, qui interviennent en matière de sûreté nucléaire, y sont seulement traitées sur le plan administratif (rôle de l'autorité compétente, procédure d'autorisation, de contrôle et de surveillance...). Par ailleurs, aucune règle technique spécifiquement nucléaire – additionnelle au Règlement général pour la protection du travail (RGPT) – n'existait en Belgique. La décision fut donc prise de se référer en partie aux règlements et compétences existant à l'étranger, et surtout aux USA, pour ce qui concerne les centrales nucléaires, toutes les unités belges envisagées alors étant de conception de base américaine (Westinghouse ou Framatome travaillant à l'époque sous licence Westinghouse).

C'est ainsi que les commandes des équipements de ces premières unités (en décembre 1968 pour Doel 1/Doel 2 et en juillet 1969 pour Tihange 1) prévoyaient la conformité des installations et équipements aux règles de sûreté américaines qui, à cette époque, définissaient déjà les grands principes – toujours d'application aujourd'hui – en la matière. Ces principes sont résumés ci-après.

0.3.1.1.1. Les barrières multiples

Les impératifs stricts de sûreté, adoptés dès le début lors de la conception des unités, ont pour objectif d'assurer une protection optimale des personnes et des biens contre les risques « nucléaires ». Cette protection est acquise essentiellement au moyen de « barrières » successives placées entre les substances radioactives produites au cours du fonctionnement des installations (les « produits de fission ») et l'environnement. Il est d'usage de distinguer ainsi trois barrières dans les réacteurs du type PWR :

- le gainage dans lequel les pastilles cylindriques de combustible sont empilées ;
- les équipements (tuyauteries, pompes, vannes...) du circuit de refroidissement du réacteur et, notamment, la cuve à l'intérieur de laquelle se trouvent les assemblages de combustible ;
- l'enceinte de confinement qui abrite le circuit de refroidissement du réacteur.

0.3.1.1.2. Les dispositifs de sauvegarde

L'existence des barrières décrites ci-dessus est importante, mais n'est pas suffisante à elle seule pour atteindre les objectifs de sûreté. Il convient, en outre, d'assurer la protection de ces barrières et le maintien de leur intégrité physique tant en fonctionnement normal qu'en situation accidentelle. Dans ce but, les bureaux d'études et les exploitants des réacteurs ont adopté une « philosophie de sûreté » intégrée dans la conception et l'exploitation des systèmes et équipements constitutifs du réacteur et de ses auxiliaires, ainsi que dans la fabrication et le montage des équipements. Cette philosophie fait appel à différents niveaux de protection des barrières constitués de moyens redondants permettant d'assurer **les trois fonctions de sûreté de base** que sont le contrôle de la réactivité du réacteur, le refroidissement du combustible (afin d'en assurer l'intégrité) et le confinement des substances radioactives.

0.3.1.1.3. La « défense en profondeur »

Un des concepts fondamentaux de la philosophie de sûreté est celui de « défense en profondeur ». L'objectif de cette approche est double : d'une part et surtout, prévenir les accidents et d'autre part, en cas d'échec de cette prévention et donc de survenance d'un accident, en limiter les conséquences potentielles et empêcher son évolution vers des situations graves aux conséquences inacceptables. La « défense en profondeur » est structurée en cinq niveaux de telle sorte que chaque niveau est amené à jouer son rôle en cas de défaillance des niveaux précédents :

- le premier niveau a pour objectif de prévenir les conditions anormales d'exploitation et la défaillance des systèmes et composants (adéquation de la conception) ;
- en cas de défaillance du premier niveau, le second niveau a pour objet de détecter les conditions anormales et les défaillances et d'en empêcher le développement (présence d'une instrumentation de surveillance et de systèmes de contrôle) ;
- le troisième niveau consiste en l'activation de systèmes mécaniques et/ou électriques de sûreté permettant de faire face à la défaillance des moyens « normaux » de contrôle du deuxième niveau (présence de systèmes de sûreté actifs ou passifs) ;
- le quatrième niveau contrôle et limite l'évolution de l'accident de manière à prévenir ou réduire les rejets de substances radioactives à l'extérieur des installations (gestion de l'accident au moyen d'un plan d'urgence interne) ;
- enfin, le cinquième et dernier niveau consiste en la réduction des conséquences sanitaires liées à des rejets significatifs de radioactivité dans l'environnement (plan d'urgence externe). L'objectif général de la « défense en profondeur » est de s'assurer qu'une défaillance unique (matérielle ou humaine) dans l'un quelconque des niveaux de défense ou qu'une combinaison de défaillances dans plus d'un niveau de défense ne compromet pas les niveaux subséquents. L'indépendance des différents niveaux de défense est un élément clé permettant de rencontrer cet objectif.

0.3.1.1.4. La double enceinte de confinement (voir figure 10 – chapitre 1.3 - p. 35)

Dès le début des études relatives aux premières unités, une fois les sites de Doel et de Tihange sélectionnés, il fut décidé, compte tenu de la densité de population en Belgique, de munir les centrales de doubles enceintes de confinement, séparées par un espace annulaire maintenu en dépression, pour le bâtiment du réacteur. Cette disposition a été maintenue pour toutes les unités ultérieures. Elle a pour objet de pouvoir filtrer et canaliser vers une cheminée de rejet de hauteur appropriée à la topographie de la région avoisinante, les rejets de substances radioactives gazeuses qui pourraient survenir dans l'enceinte intérieure en cas d'accident.

0.3.1.1.5. La redondance

Il est requis, lors de la conception des systèmes de protection et de sauvegarde, de prendre en compte une défaillance unique d'un équipement de sûreté et d'exiger, malgré cela, que la fonction de sûreté sollicitée soit assurée. Il en résulte le principe de redondance qui est tel que, pour satisfaire ce critère, tous les équipements de sûreté doivent au moins être dédoublés. Selon la configuration adoptée lors de la conception des unités, les systèmes de protection et de sauvegarde peuvent être constitués de trois ensembles (on parle de « trains ») indépendants et séparés (Ti 2-3) ou de deux ensembles interconnectés (Ti 1). Le principe de redondance conduit, en effet, à devoir doubler (2 x 100 %) ou tripler (3 x 50 %) les équipements présentant la capacité à remplir la fonction de sûreté envisagée. Il faut remarquer ici que cette redondance, à assurer pour un équipement considéré, doit aussi s'appliquer à tous les dispositifs qui mettent cet équipement en œuvre, à l'alimentation de cet équipement ainsi qu'à toutes les vannes, tuyauteries... associées.

0.3.1.1.6. Les accidents « de conception »

La prise en considération des règles américaines a conduit à analyser, dans les rapports de sûreté des unités, une série d'accidents qui pouvaient survenir aux installations et à vérifier que les systèmes de sauvegarde, dont la conception résulte de l'application des règles de sûreté, permettent d'y faire face, c'est-à-dire de mettre le réacteur dans un état d'arrêt sûr et d'éviter tout rejet de radioactivité inacceptable dans l'environnement.

Pour les unités visées au présent paragraphe, les accidents de conception sont illustrés ci-dessous :

a) Accidents d'origine interne à la centrale

- Retrait incontrôlé de grappes de réglage du réacteur au démarrage
- Retrait incontrôlé de grappes de réglage du réacteur en puissance
- Introduction intempestive d'eau froide dans le cœur du réacteur
- Introduction de réactivité suite à une baisse de température de l'eau de refroidissement au secondaire des générateurs de vapeur
- Défaillance du circuit de contrôle chimique et volumétrique
- Relâchement accidentel de bore
- Chute de grappes de réglage, de groupes de grappes ou mauvais alignement de grappes
- Déplacement accidentel du cœur
- Perte de débit primaire
- Perte des alimentations électriques
- Incidents sur le circuit secondaire
- Ouverture intempestive d'une soupape de sûreté du pressuriseur
- Transitoires sans arrêt d'urgence du réacteur
- Accident lors de la manutention du combustible
- Relâchement accidentel d'effluents radioactifs liquides
- Relâchement accidentel d'effluents radioactifs gazeux
- Fuites dans un générateur de vapeur
- Rupture d'un tube de générateur de vapeur
- Rupture d'une tuyauterie de vapeur
- Éjection d'une grappe de réglage
- Blocage d'une pompe primaire
- Perte de réfrigérant primaire

b) Accidents d'origine naturelle

- Séisme
- Inondations

0.3.1.2. Unités de Doel 3/Doel 4 et de Tihange 2/Tihange 3

Pour les quatre dernières unités nucléaires belges, il fut décidé en 1975 de continuer à utiliser les règles de sûreté américaines pour leur conception. Cela se justifiait, d'une part, par le fait que les quatre nouvelles centrales étaient toujours de technologie américaine (mise au point par Westinghouse) et, d'autre part, parce que ces règles s'étaient considérablement renforcées depuis 1968 et étaient devenues à l'époque notablement plus développées que les règles de tous les autres pays ou institutions internationales.

Ces règles s'étant étoffées depuis l'époque de la conception des trois premières unités (en 1974, une vaste campagne de l'USNRC² fut lancée en vue d'établir de nouvelles règles de sûreté), un accord fut conclu le 6 juin 1978 entre l'USNRC et le Gouvernement belge. Cet accord portait sur l'échange d'informations en matière de réglementation et en matière de recherches relatives à la sûreté et sur la collaboration dans l'établissement des règles. Des rencontres régulières entre les deux parties étaient prévues et ces dispositions permirent, aux acteurs belges concernés, de préciser l'interprétation qu'il convenait de donner aux règles américaines.

Il découle de ce qui précède que tous les principes de base et considérations qui ont été explicités au paragraphe 0.3.1.1 ci-dessus sont également applicables aux quatre derniers réacteurs. Les principes de redondance et de séparation physique ont été scrupuleusement respectés.

Mais il faut noter que les Autorités belges avaient précisé, dès avril 1975, que plusieurs accidents devaient être pris en compte dans la conception des unités, quelles que soient les règles américaines à leur sujet. Il s'agissait des accidents, d'origine externe ou interne à la centrale, suivants :

- les chutes d'avions ;
- l'incendie de grande ampleur ;
- les explosions, y compris l'explosion de gaz ;
- les actes de malveillance ;
- les accidents conduisant à l'inaccessibilité de la salle de commande.

Cette exigence particulière des Autorités belges eut un impact significatif sur la conception de la sûreté des unités concernées. Elle entraîna l'introduction, outre la double enceinte de confinement et la présence des systèmes de sauvegarde « habituels » (que l'on peut qualifier de « premier niveau » de protection), d'un deuxième niveau de protection « bunkerisé ».

Ce deuxième niveau consiste, d'une part, à protéger contre les accidents d'origine externe comme la chute d'avion ou l'explosion de grande ampleur, toutes les sources significatives de radioactivité (le réacteur et les piscines de stockage et de désactivation du combustible usé) présentes dans la centrale. Cette protection est assurée par des parois de béton armé de grande épaisseur ; pour ces quatre réacteurs, cela concerne l'enceinte extérieure de confinement, dont l'épaisseur est portée à 1,2/1,3 m. Ces structures sont qualifiées au séisme.

D'autre part, un deuxième système de contrôle, également protégé et totalement indépendant des systèmes de contrôle normaux, a pour fonction d'assurer l'arrêt et le contrôle automatiques de la centrale pendant les premières heures qui suivent un accident et qui aurait conduit à la destruction totale ou partielle des moyens normaux de contrôle de la centrale, comme le bâtiment électrique ou la salle de commande. De par la redondance qu'il assure et de par sa situation dans des bâtiments renforcés dont l'accès est strictement limité, le deuxième niveau de protection présente de plus une protection importante contre les actes de malveillance dont la centrale pourrait être l'objet.

2. Qui s'appelait alors *United States Atomic Energy Commission* – USAEC.

Si le premier niveau de protection se commande à partir de la salle de contrôle principale de l'unité, le second niveau se commande à partir d'autres panneaux de commande, localisés eux aussi dans un bâtiment bunkérisé résistant aux agressions d'origine externe.

Il convient d'observer ici que le second niveau de protection est complètement indépendant du premier, en particulier pour ce qui concerne ses alimentations électriques et ses alimentations en eau.

0.3.2. Depuis la conception initiale – Les Révisions Périodiques de Sûreté

L'Arrêté Royal du 5 septembre 1974 octroyant l'autorisation pour l'unité 1 de la centrale de Tihange a été amendé par l'Arrêté royal du 08 février 2010 (8629/AM-1-A), on peut y lire (Art. 2.8) :

« Au minimum tous les dix ans, l'exploitant procède à une révision de la sûreté des installations. Cette révision se fait selon les directives de l'Agence fédérale de contrôle nucléaire.

Des révisions de la sûreté des installations sont également entreprises à la demande de l'Agence fédérale de contrôle nucléaire et dans un délai plus court que celui visé au 1^{er} alinéa.

À chaque révision périodique de sûreté prévue aux alinéas 1er et 2, un rapport est établi dans lequel une évaluation globale de la sûreté des installations est effectuée ainsi que les améliorations qui seront apportées et le calendrier associé sont décrits. Ce rapport est transmis à Bel V et à l'Agence fédérale de contrôle nucléaire.

Le Conseil Scientifique émettra un avis sur les résultats et les conclusions des révisions périodiques de sûreté. »

Une disposition analogue est également reprise dans les autorisations de toutes les unités nucléaires belges.

Chaque Révisions Périodiques de Sûreté donnent donc lieu à une revue des questions de sûreté et à la mise en œuvre d'améliorations en la matière.

Il convient, à ce propos, de dire un mot sur le cas particulier de la première Révisions Périodiques de Sûreté des unités de Doel 1/Doel 2 et de Tihange 1. Lors de ces réévaluations (en 1985-1986), une liste de sujets ayant rapport avec la sûreté des installations fut établie aux fins d'analyse. Cette liste tenait compte :

- du retour d'expérience au cours des dix premières années d'exploitation des unités ;
- des principes de sûreté discutés ou imposés lors de la conception des quatre dernières unités Doel 3/Doel 4 et Tihange 2/Tihange 3 ;
- du retour d'expérience en provenance des centrales étrangères, notamment françaises (elles aussi de conception de base américaine) ;
- des thèmes importants de sûreté qui avaient été mis en évidence dans les analyses techniques des centrales de type PWR en exploitation.

Ces sujets qui furent à la base de la Révision Périodique de Sûreté des trois premières unités ont conduit à une mise à niveau de la sûreté selon les standards internationaux ainsi qu'à un rapprochement de leur niveau de sûreté avec celui des dernières unités.

Pour rappel, les dernières unités avaient pris en compte, dès leur conception, des accidents spécifiques, à la demande des Autorités belges (voir paragraphe 0.3.1.2), ce qui avait conduit à l'introduction d'un deuxième niveau de protection. Lors de la première Révision Périodique de Sûreté des

trois premières unités, des dispositifs de sûreté spécifiques y furent mis en œuvre afin de réduire les écarts de conception avec ceux des unités suivantes.

Ainsi, à Tihange, il fut décidé d'installer un « système d'ultime repli » (SUR) dans l'unité 1. Celui-ci permet de faire face à certains événements qui n'avaient pas été pris en compte à l'origine. Il comporte notamment des installations électriques et une instrumentation entièrement indépendante, un système d'air comprimé indépendant, une pompe supplémentaire pour l'injection d'eau aux joints des pompes primaires, un panneau de commande d'ultime repli, etc. À l'origine, le SUR n'a pas été conçu pour fonctionner après un séisme, bien que beaucoup de ses composants soient qualifiés au séisme.

Aujourd'hui, le SUR a été modifié de façon à atteindre un niveau de qualification au séisme DBE (*voir chapitre 2*).

Un processus de mise à niveau analogue à celui de Tihange 1 fut mis en place sur les unités 1 et 2 de Doel (lors de la première Révision Périodique de Sûreté), afin de tenir compte des impositions de sûreté des Autorités belges exprimées pour les dernières unités. C'est ainsi que des systèmes de sûreté de deuxième niveau furent ajoutés pour faire face à ces impositions et regroupés dans un « bâtiment d'ultime secours » (GNS pour « Gebouw voor de Noodsystemen »). Ces systèmes sont qualifiés au séisme et totalement indépendants des systèmes du premier niveau. Ils remplissent les mêmes fonctions que les systèmes correspondants de Tihange 1.

1

DESCRIPTION DU SITE DE TIHANGE



1	Introduction	p. 20
1.1	Généralités	p. 22
1.2	Spécificités	p. 24
	1.2.1. Îlots nucléaires	
	1.2.1.1. Différences en termes de conception sur les événements considérés	
	1.2.1.2. Différences en termes de systèmes de protection	
	1.2.1.2.1. Systèmes du premier niveau de protection	
	1.2.1.2.2. Systèmes du second niveau de protection	
	1.2.2. Piscines d'entreposage des assemblages de combustible utilisé	
	1.2.2.1. Entreposage au sein des unités	
	1.2.2.2. Entreposage dans le bâtiment DE	
1.3	Enceintes de confinement	p. 35
1.4	Alimentations électriques	p. 36
	1.4.1. Généralités	
	1.4.2. Tihange 1	
	1.4.3. Tihange 2 et 3	
1.5	Alimentations en eau de refroidissement	p. 39
	1.5.1. Tihange 1	
	1.5.2. Tihange 2 et 3	
	1.5.3. Site	
1.6	Études PSA	p. 41
1.7	Glossaire	p. 42

1

Introduction

Le site se trouve sur le territoire de l'ancienne commune de Tihange, le long de la rive droite de la Meuse. Tihange fait aujourd'hui partie de la ville de Huy et est distante de 25 kilomètres de la ville de Liège.

Le site est limité au nord par la Meuse et au sud par la route à grande circulation Liège-Huy (N90). D'une superficie de 62,5 hectares (26 ha pour l'unité 1, 19,5 ha pour l'unité 2 et 17 ha pour l'unité 3), le site est implanté sur une zone industrielle de 70 hectares environ.

On y accède par la route nationale Liège-Huy ou par des routes secondaires en communication, via la commune de Tihange, avec les routes Huy-Hamoir ou Liège-Dinant. Une route à grande circulation relie l'autoroute de Wallonie aux grands axes routiers de la rive droite de la Meuse (N684) et franchit la Meuse à Tihange. Un autre axe important traverse également la Meuse sur la commune de Wanze. Ces multiples routes garantissent un accès direct diversifié au site.

Les gares de chemin de fer les plus proches sont à Huy et Ampsin. La voie ferrée Charleroi-Namur-Liège (ligne 125) est située sur la rive gauche de la Meuse.

Composée de deux voies électrifiées, la ligne de chemin de fer 125 passe juste en face du site, de l'autre côté de la Meuse, à la distance minimale de 270 m de Tihange 2.

Le site naturel est plat et situé à l'altitude moyenne de 71,35 mètres. Sur la rive droite de la Meuse, le terrain monte en pente douce à partir de la route Liège-Huy pour atteindre la cote maximum de 260 mètres à une distance de 4 km du fleuve.

La rive gauche de la Meuse est bordée de versants escarpés dont la dénivellation atteint 100 mètres en 1 km. Le plateau Nord est à l'altitude de 200 mètres.

Le site se situe en bordure de la Meuse qui est la seule voie navigable dans un rayon de 8 km autour du site. De Huy à Liège, le fleuve suit une direction générale O-S.O. à E-N.E.

Le barrage d'Ampsin-Neuville, qui régularise le niveau d'eau à la cote de 69,25 m, se trouve à un kilomètre de la borne aval du site. Il est équipé pour maintenir la cote de référence au moins jusqu'au débit de 2200 m³/s (sa crue de conception). En cas de perte de cet ouvrage, la Meuse retrouve son lit naturel.

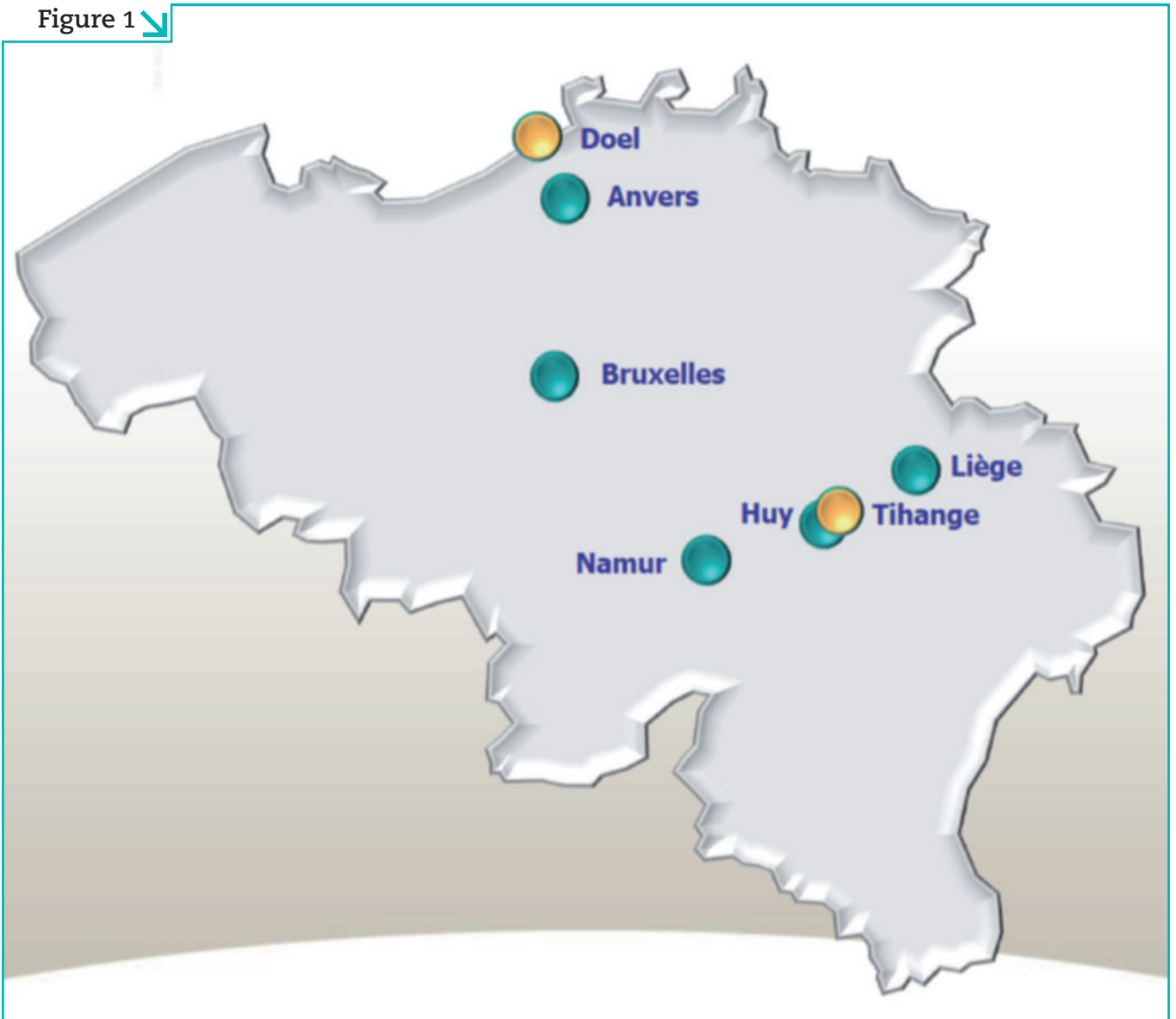
Au droit du site de Tihange, le fleuve a une largeur d'environ 120 à 130 mètres, et la distance entre le milieu de la passe de navigation et la centrale est d'environ 130 mètres.

La prise d'eau de Meuse est unique pour l'ensemble du site.

Le site se trouve également à l'intérieur de la zone CTR (zone contrôlée) associée à l'aéroport de Bierset, situé à 16 km environ.

Il n'y a aucun point de transbordement important (dock, quais, aéroport) dans un rayon de 8 km du site.

Figure 1 ↘



Situation des sites de Tihange et de Doel.

1.1 Généralités

Les centrales nucléaires de Tihange sont exploitées par Electrabel (EBL), qui fait partie du groupe GDF-SUEZ.

Figure 2 ↘



Photo du site de Tihange.

Ce site regroupe les installations suivantes :

- l'unité 1 de la Centrale Nucléaire de Tihange (A) ;
- l'unité 2 de la Centrale Nucléaire de Tihange (B) ;
- l'unité 3 de la Centrale Nucléaire de Tihange (C) ;
- le bâtiment d'entreposage sous eau des assemblages de combustible usé (D).

Le site de Tihange puise son eau de refroidissement dans la Meuse par une dérivation de son cours principal. Cette eau est filtrée et, de ce fait, le site participe au retrait de 30 à 70 tonnes de déchets par an (suivant les années) du fleuve. Ces déchets sont évacués vers un centre d'incinération et de valorisation énergétique.

Le site est certifié ISO 14001 ; EMAS ; OHSAS 18001.

Les principales caractéristiques des réacteurs et du bâtiment DE sont reprises dans le tableau ci-après.

Tableau 1 

Caractéristiques des unités et du bâtiment d’entreposage des assemblages de combustible usé (DE)

	Type	Puissance thermique (MWth)	Date de première criticité	Caractéristiques de l’enceinte	Remplacement des générateurs de vapeur	Capacité piscine combustible	Concepteur
Tihange 1	PWR (3 boucles)	2873	1975	Double enceinte avec peau d’étanchéité métallique interne	1995	324 alvéoles (+ 49 alvéoles amovibles)	Westinghouse/ Framatome
Tihange 2	PWR (3 boucles)	3054	1982	idem	2001	700 alvéoles	Framatome
Tihange 3	PWR (3 boucles)	2988	1985	idem	1998	820 alvéoles	Westinghouse
DE	NA	NA	NA	Bâtiment « bunkerisé »	NA	3720 alvéoles (+ 30 alvéoles pour l’entreposage temporaire)	Tractebel Engineering

Outre les remplacements des générateurs de vapeur sur les trois unités, il faut noter le remplacement du couvercle de la cuve du réacteur de l’unité 1 en 1999. Le remplacement du couvercle de la cuve du réacteur de l’unité 3 est planifié pour 2015.

Les trois réacteurs ont deux niveaux de protection distincts, chacun conçu pour faire face à un ensemble d’initiateurs/agressions spécifiques.

La programmation par Electrabel des révisions (arrêts des centrales nucléaires pour rechargement, réacteur ouvert) se fonde sur les critères de base suivants :

1. pas de révision simultanée de deux unités du même site ;
2. intervalle de deux semaines entre la fin de la révision d’une unité et le début de la révision de l’unité suivante ;
3. autant que possible, pas de révision simultanée d’unités de 1 000 MW du parc (c’est-à-dire une révision à Doel et une à Tihange).

Ces critères sont basés sur des considérations d’optimisation des moyens de production de base, de stabilité du réseau (réserve) et de disponibilité des ressources internes et externes.

Vu la gestion des cycles des unités, le critère 2 est contraignant uniquement à Doel (3 unités en cycle annuel), Tihange n’ayant que deux révisions par an espacées de 6 mois.

Ceci n’exclut pas qu’une deuxième unité puisse être à l’arrêt à froid pendant la révision d’une autre unité du site, suite à un incident technique ou lors de l’arrêt commun annuel des unités de Doel 1 & 2. Dans une telle situation, l’unité qui n’est pas en révision reste toujours en situation « GV disponibles ».

Sur base de l’historique, Tihange n’a connu que 4 arrêts simultanés de deux unités, le dernier cas ayant eu lieu en 1988.

1.2

Spécificités

1.2.1. Îlots nucléaires

1.2.1.1. Différences en termes de conception sur les événements considérés

Vis-à-vis des événements initiateurs considérés à la conception des installations, des différences existent entre les unités de Tihange 1 et de Tihange 2 et 3 :

1. Une séparation physique partielle des systèmes de sûreté redondants de Tihange 1 ;
2. Une séparation physique complète entre les systèmes de sûreté redondants de Tihange 2 et Tihange 3 ;
3. Tihange 2 et Tihange 3 ont pris en compte, dès la conception, les agressions d'origine externe (AOE), notamment :
 - la chute d'un avion commercial et militaire ;
 - un incendie de grande ampleur ;
 - une explosion (y compris une explosion de gaz) ;
 - un acte de malveillance ;
 - et des conditions rendant la salle de commande principale inaccessible ou endommagée.

Lors des Révisions Périodiques de Sûreté de Tihange 1, plusieurs dispositifs de sûreté spécifiques ont été mis en œuvre afin de réduire ces écarts de conception. Tihange 2 et Tihange 3 disposent de deux niveaux de protection : un premier niveau destiné à la gestion des incidents et accidents d'origine interne (par exemple la perte d'inventaire en eau du circuit primaire ou la rupture d'une tuyauterie secondaire) et du séisme, et un second niveau destiné aux agressions d'origine externe. Le premier niveau se commande à partir de la salle de contrôle principale et le second niveau à partir d'une salle de commande complète localisée dans le bâtiment BUS (Bâtiment d'Ultime Secours).

Ce bâtiment « bunkerisé » résiste aux agressions d'origine externe de conception. Précisons que ce second niveau est complètement indépendant du premier niveau de protection, en particulier en ce qui concerne ses alimentations électriques et ses alimentations en eau. Le BUS gère de façon automatique la situation, même en l'absence de tout personnel. Son autonomie en mode automatique est au minimum de trois heures, le temps nécessaire pour le personnel absent de venir sur place et reprendre la suite des opérations.

À Tihange 1, le second niveau n'avait pas été prévu à la conception. Néanmoins, lors de la première Révision Périodique de Sûreté (1986), il a été décidé d'installer un système d'ultime repli (SUR). Ce système permet de faire face à plusieurs accidents qui n'avaient pas été pris en compte à l'origine.

Ce système d'ultime repli comporte notamment des alimentations électriques et une instrumentation entièrement indépendantes, un système d'air comprimé indépendant, une pompe supplémentaire pour l'injection d'eau aux joints des pompes du circuit primaire, un panneau d'ultime repli, etc. À l'origine, le SUR n'a pas été conçu pour fonctionner après un séisme. Toutefois, étant donné que la majorité de ses composants étaient qualifiés au séisme et que des adaptations complémentaires ont été apportées, le SUR est aujourd'hui qualifié au séisme DBE.

Toutes les unités possèdent deux groupes de systèmes pour assurer la sûreté des installations : les systèmes de sûreté premier niveau de protection et les systèmes de second niveau de protection.

Le CMU (circuit des moyens ultimes) a été installé en 2011 à la centrale de Tihange dans le but de répondre à une inondation du site. Il s'agit de l'implémentation d'une partie des actions décidées suite à une étude concernant l'inondation externe, lors de la dernière Révision Périodique de Sûreté. Il est spécifiquement dimensionné pour répondre à une inondation du site, quelle que soit l'importance de la crue. Ces équipements sont rapidement connectables aux circuits d'alimentation en eau des GV et des piscines de désactivation afin d'alimenter ceux-ci en eau et d'éviter l'endommagement du combustible. Dès lors, leur utilisation ne se limite pas à la réponse en cas d'inondation. Le

CMU est constitué de pompes fixes ou mobiles, de tuyauteries fixes ou flexibles, de vannes et de générateurs électriques autonomes. Pour éviter les modes communs, de sorte à garantir son efficacité et son indépendance, il est connecté à un réseau électrique totalement indépendant des autres réseaux électriques. Ce réseau est lui-même alimenté par des groupes Diesel spécifiques découplés de tout autre réseau. Le CMU n'était pas prévu à l'origine et protège la centrale contre une crue hors conception. À ce titre, il n'est pas classé. Néanmoins, les équipements ont été choisis parmi les plus fiables proposés sur le marché, afin de maximiser la fiabilité de l'ensemble. Des procédures spécifiques ont été créées pour son utilisation.

Le tableau 2 ci-dessous décrit les événements pris en compte et indique, pour chaque unité, le niveau de protection conçu pour faire face à l'événement considéré.

Tableau 2 ↘

Événements pris en compte par les systèmes de sûreté

Famille de l'événement	Description	Tihange 1	Tihange 2/3
Accidents d'origine interne	Incident du chapitre 15 du rapport de sûreté ¹	Premier niveau	Premier niveau
	Incendie majeur dans le bâtiment des auxiliaires électriques et la salle des machines	Deuxième niveau SUR	Premier niveau
	Rupture d'une conduite haute énergie dans la salle des machines (avec impact sur le bâtiment des auxiliaires électriques et le bâtiment des groupes Diesel)	Non applicable	Premier niveau
Perte totale des alimentations électriques	<i>Station Black-Out</i> : perte des alimentations électriques externes et internes (premier niveau)	Deuxième niveau SUR	Deuxième niveau BUS
Accident d'origine externe	Chute d'avion (aviation générale)	Voir rapport spécifique	Voir rapport spécifique
	Chute d'avion (aviation commerciale)	Voir rapport spécifique	Voir rapport spécifique
	Indisponibilité de la salle de commande principale	Premier niveau Panneau de Repli Deuxième niveau PUR	Panneau de Repli localisé dans le BUS
	Explosion externe	Deuxième niveau SUR	Deuxième niveau BUS
	Gaz toxiques	Premier niveau	Premier niveau
	Tremblement de terre - DBE	Premier niveau	Premier niveau ²

1- Ce sont les accidents étudiés de façon standard, selon la réglementation américaine.

2- Le « bunker » (BUS) de Tihange 2 et Tihange 3 est également conçu pour résister à un niveau de séisme DBE.

1.2.1.2. Différences en termes de systèmes de protection

1.2.1.2.1. Systèmes du premier niveau de protection

Pour les accidents d'origine interne, les systèmes du « premier niveau » présentent quelques différences entre les unités. Ces différences sont présentées dans le tableau Systèmes du premier niveau de protection (voir ci-dessous).

Avertissement :

Les schémas repris dans ce rapport constituent des supports didactiques illustrant les principaux composants. Ils ne peuvent dès lors être considérés comme les plans complets des équipements et installations.

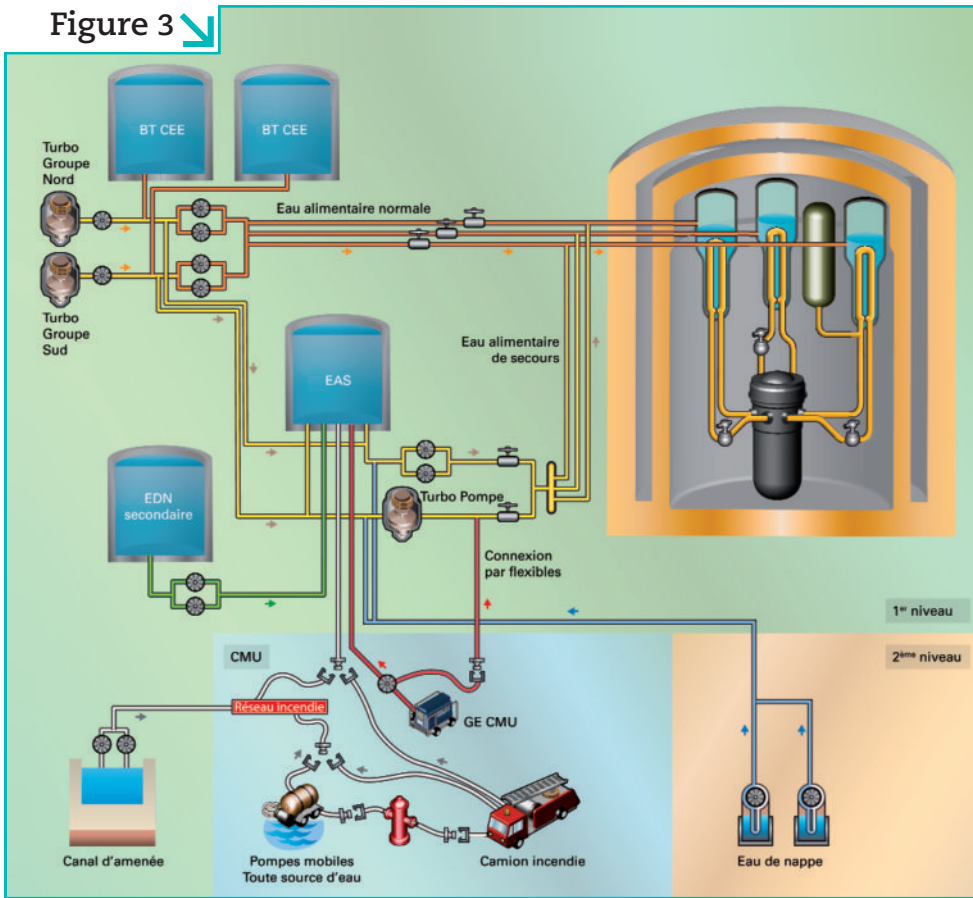
Tableau 3 ↘

Systèmes du premier niveau de protection

	Tihange 1	Tihange 2 et 3
Circuit d'injection de sécurité	3 pompes haute pression (180 bars) qui sont également les pompes du circuit de contrôle volumétrique et chimique 3 accumulateurs de 25 m ³ 2 pompes basse pression ISBP (8 bars) dont la fonction peut être indépendamment reprise par les 2 pompes CAE de secours. Pas d'échangeur de chaleur sur les lignes d'injection de sécurité. 1 réservoir d'eau de piscine.	3 trains indépendants 3 pompes haute pression (120 bars) 3 accumulateurs de 35 m ³ 3 pompes basse pression (20 bars), pouvant être secourues par les 3 pompes CAE 3 échangeurs de chaleur pour assurer le refroidissement de l'eau de recirculation 3 réservoirs interconnectés (Tihange 2 uniquement) d'eau de piscine.
Circuit d'aspersion d'enceinte	6 pompes 2 lignes d'injection directe à partir du réservoir (sans échangeur) 2 lignes de recirculation interne à partir des puisards (avec échangeurs) 2 lignes soit d'injection directe depuis le réservoir, soit de recirculation depuis les puisards (avec échangeurs). Elles peuvent reprendre indépendamment la fonction des pompes ISBP.	3 trains indépendants 3 lignes d'injection soit à partir des réservoirs en injection directe, soit à partir des puisards en recirculation (avec échangeur). Elles peuvent indépendamment reprendre la fonction des pompes ISBP.
Refroidissement du réacteur à l'arrêt	2 trains avec des parties de tuyauterie communes (collecteurs) Soutirage en branche chaude 2 et injection en branches froides 3 et 1. Les pompes ISBP peuvent reprendre indépendamment la fonction des pompes RRA.	3 trains totalement indépendants
Groupe Diesel de secours	2 Diesel premier niveau ³ GDS	3 Diesel premier niveau ³ GDS
Combustible	Combustible standard	Combustible standard (et <i>Mixed OXide fuel</i> ou MOX uniquement en piscine) pour Tihange 2 et combustible standard pour Tihange 3
Circuit d'incendie	Une pompe pouvant être alimentée par un Diesel du premier niveau et une pompe avec un moteur thermique (Diesel)	Pompes électriques alimentées par les Diesel premier niveau
Eau alimentaire auxiliaire/de secours	1 turbopompe (100 %) alimentée par le SUR et 2 motopompes (2 x 50 %) alimentées par les groupes Diesel de secours 1 ^{er} niveau.	1 turbopompe (100 %) alimentée par le BUS et 2 motopompes (2 x 50 %) alimentées par les groupes Diesel de secours 1 ^{er} niveau.

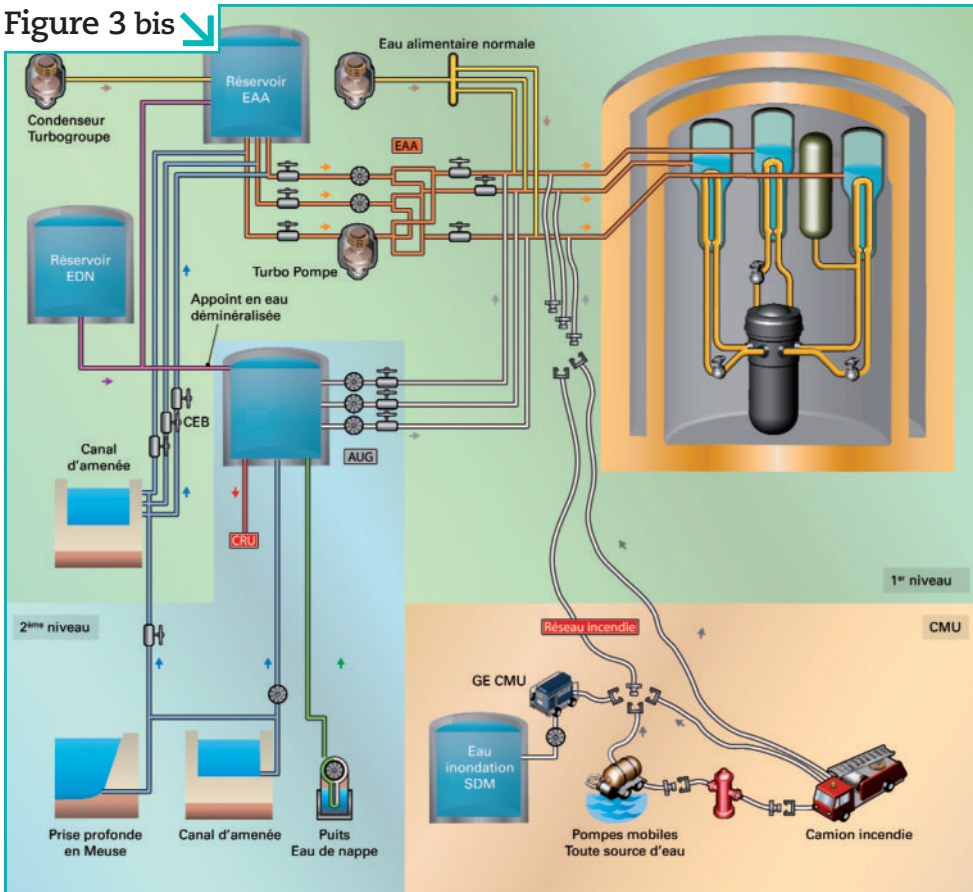
3- Un groupe Diesel de réserve (GDR) peut être raccordé sur les unités 1, 2 ou 3 pour secourir un GDS.

Figure 3



Alimentation en eau des GV de l'unité 1.

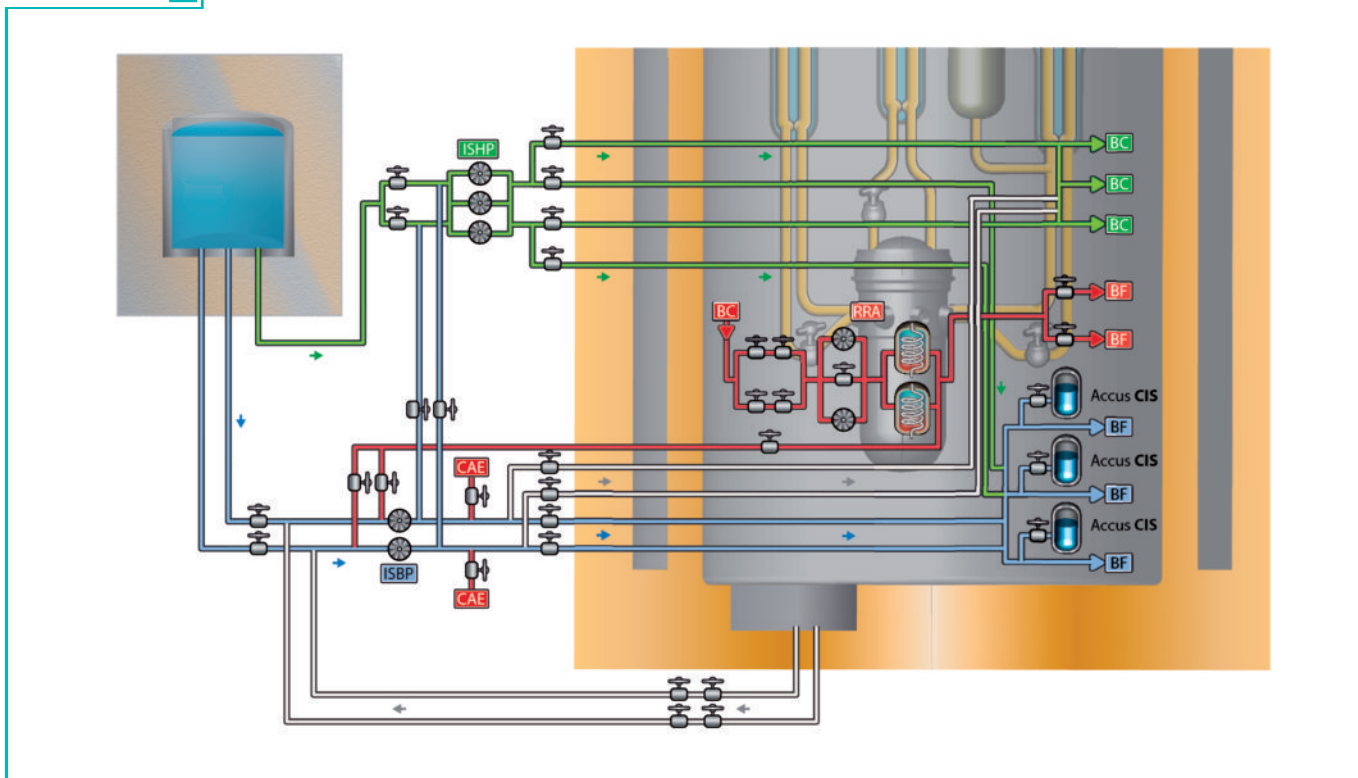
Figure 3 bis



Alimentation en eau des GV des unités 2 et 3.

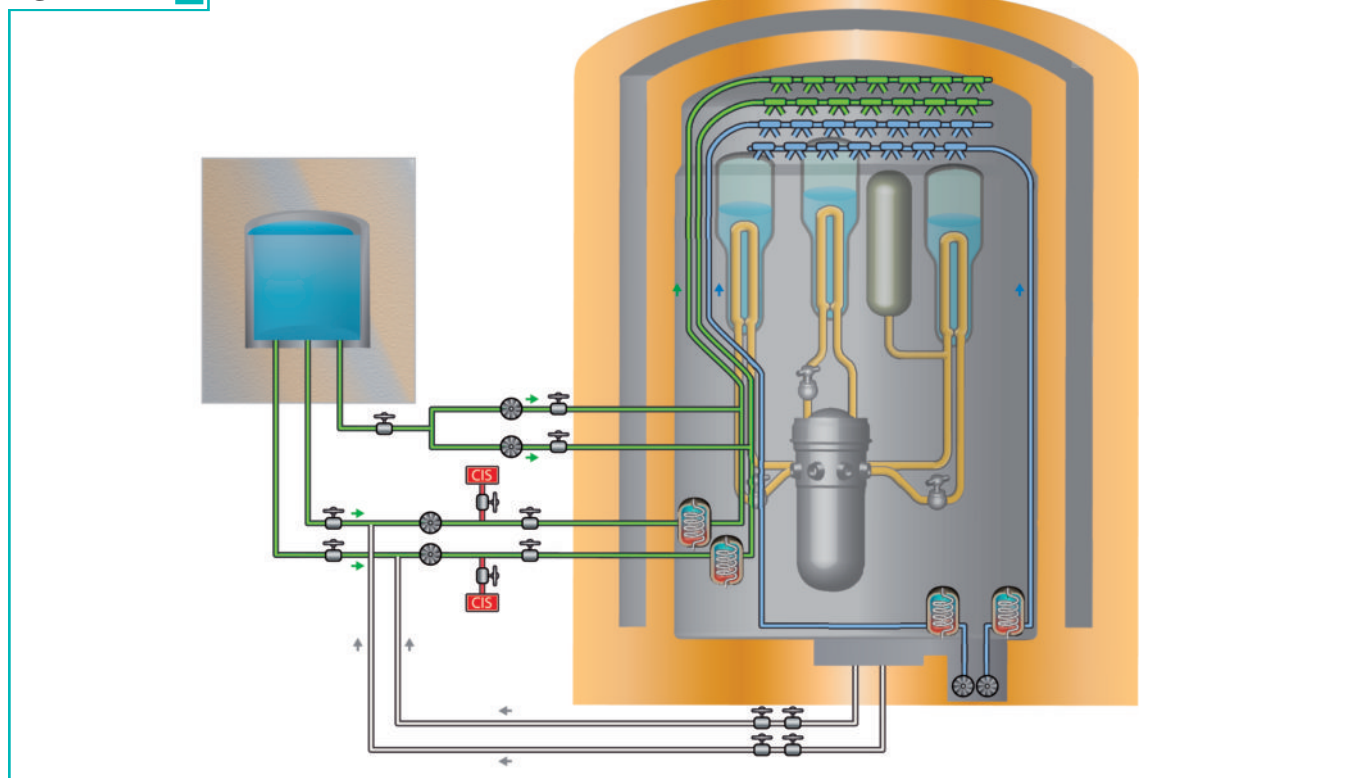
1 DESCRIPTION DU SITE DE TIHANGE

Figure 4



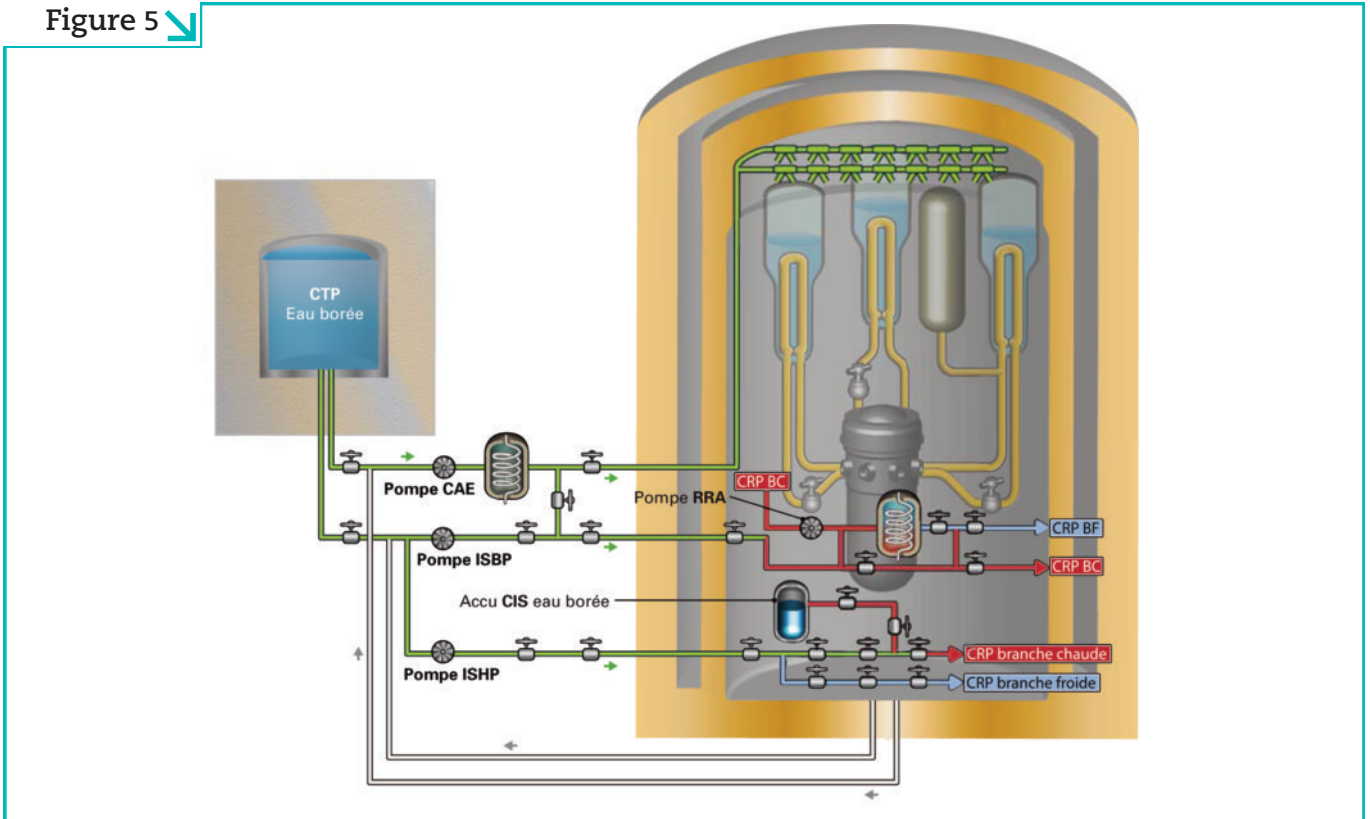
Systèmes de sauvegarde CIS unité 1.

Figure 4 bis



Systèmes de sauvegarde CAE unité 1.

Figure 5



Description d'un des trois trains des systèmes de sauvegarde des unités 2 et 3.

Tableau 4

Tableau 4 : Systèmes du second niveau de protection (unités 2 et 3)

Tihange 2 et 3	
Circuit d'injection d'ultime secours	3 trains complètement indépendants côté fluide et deux pompes d'injection d'acide borique à 7000 ppm
Protection des joints des pompes primaires	Pour Tihange 2 et 3, le circuit CRU assure le refroidissement des barrières thermiques des pompes primaires (1 pompe par boucle primaire) Pour Tihange 3, le circuit IJU assure l'injection aux joints (2 pompes 100 %)
Circuit de réfrigération d'ultime secours	Trois trains redondants assurant le refroidissement des barrières thermiques des pompes primaires ainsi que le refroidissement des échangeurs et des pompes des circuits d'ultime secours et du DE
Circuit d'alimentation d'ultime secours des GV	3 trains pour garantir l'alimentation en eau des générateurs de vapeur. L'eau provient d'un réservoir de 100 m ³ dans chaque train qui peut être réalimenté par le circuit d'eau déminéralisée normale, par l'eau des puits ou encore par l'eau de Meuse
Circuit d'eau de nappe phréatique et de Meuse	Ce circuit permet la mise à disposition d'eau <i>via</i> trois puits ou directement <i>via</i> la Meuse
Groupe Diesel d'ultime secours	3 Diesel second niveau avec réservoir de carburant pour 7 jours de fonctionnement

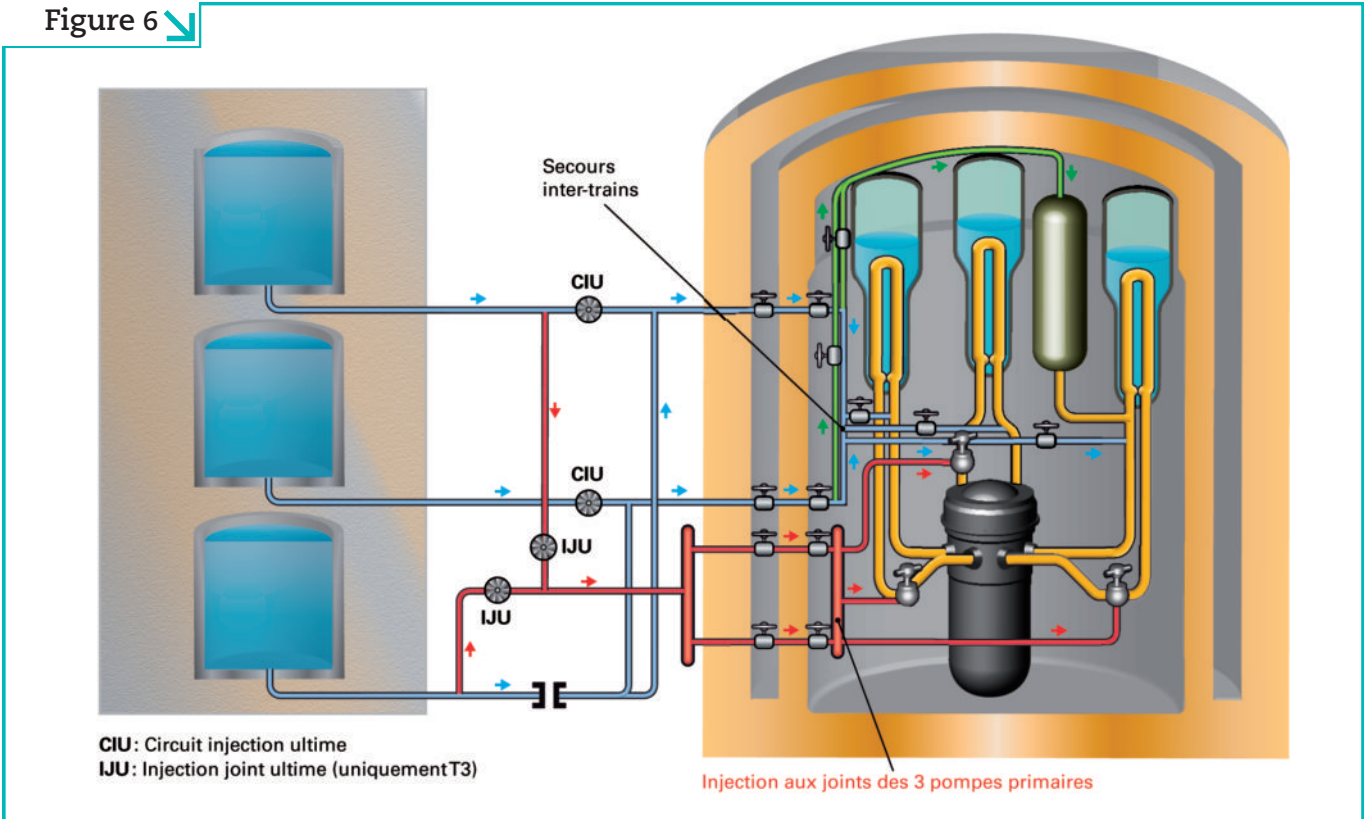
1.2.1.2.2. Systèmes du second niveau de protection

À la conception initiale de l'unité 1 de la centrale de Tihange, et conformément aux normes et réglementations de l'époque, il a été principalement tenu compte des accidents et incidents d'origine interne (à l'exception du séisme). Lors de la première Révision Périodique de Sécurité (1986), les agressions d'origine externe ont été prises en considération. À cette fin, le Système d'Ultime Repli (SUR) a été conçu pour répondre à certains accidents non pris en compte à la conception et qui pourrait conduire, par exemple, à une indisponibilité de la salle de conduite et/ou du bâtiment des auxiliaires électriques ou des alimentations électriques externes et internes. Ce système d'ultime repli (SUR) comporte deux alimentations électriques distinctes, à savoir un groupe Diesel 380 V (DUR) et un turboalternateur 380 V (GUS). Il comporte également un circuit d'eau de deuxième niveau composé de deux pompes puisant dans la nappe phréatique alluviale à partir de deux puits différents. La tenue des joints des pompes du circuit primaire est quant à elle assurée par la pompe d'injection de secours (PIS).

Pour Tihange 2 et 3, dans le cas d'agressions d'origine externe, le réacteur est maintenu automatiquement (sans intervention nécessaire des opérateurs), pendant les trois heures suivant le début de l'événement, dans les conditions de l'arrêt à chaud (si l'A.O.E. survient lors du fonctionnement en puissance ou aux conditions nominales d'arrêt à chaud) ou dans des conditions de basses température et pression (si l'A.O.E. survient alors que le réacteur est en état d'arrêt à froid). À l'issue de cette phase automatique, la conduite est reprise en manuel pour effectuer le passage à l'arrêt à froid et le maintien de cet état jusqu'à la fin du déchargement du combustible. La disposition géographique des équipements du second niveau est telle qu'un A.O.E. ne peut pas mettre en péril l'intégrité des fonctions de sécurité. Par conception, une défaillance unique ne peut entraver l'accomplissement d'une fonction d'ultime secours. En ce qui concerne les circuits de fluides, cette défaillance est supposée affecter, soit un organe actif pendant les premières 24 heures après un accident, soit un organe actif ou passif après les 24 premières heures. Les dispositifs d'ultime secours, sont conçus avec le même souci de qualité que les autres systèmes de sauvegarde de la centrale. Ce souci se traduit en particulier par l'application des mêmes critères de classification et de qualification des équipements, ainsi que des mêmes critères de redondance et d'essais en service, que les systèmes de sauvegarde. De manière à assurer ces fonctions, le BUS dispose de ses propres alimentations électriques en 6,6 kV ; en 380 V ; en 115 V pour le contrôle-commande et en 220 V régulé pour l'instrumentation.

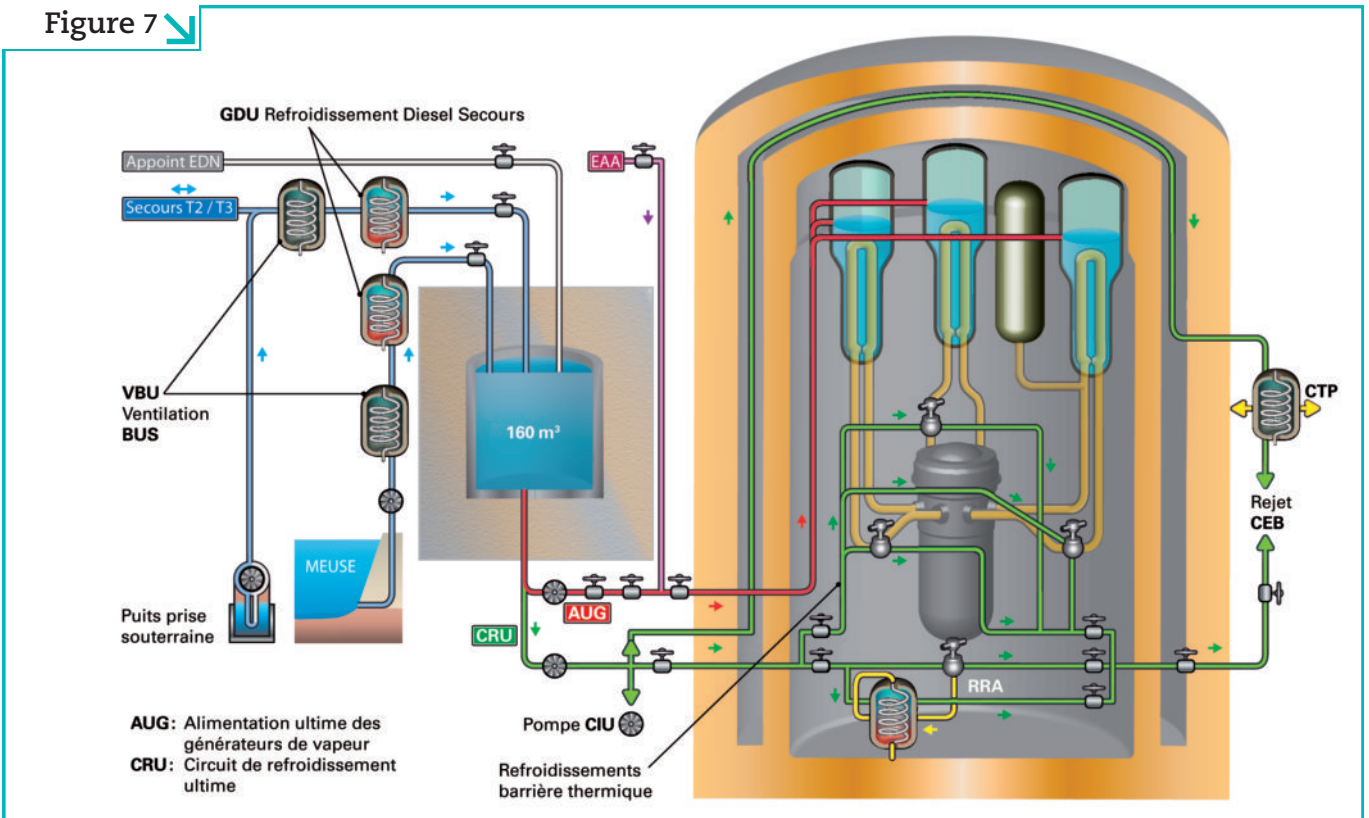
Les dispositifs du second niveau de protection (totalement redondants et indépendants des systèmes du premier niveau) sont constitués des systèmes décrits aux figures 6 et 7 (p. 31).

Figure 6



Systèmes du BUS.
Circuit d'injection ultime.

Figure 7



Systèmes du BUS
Circuit d'eau ultime T2/T3.

1.2.2. Piscines d'entreposage des assemblages de combustible utilisé

1.2.2.1. Entreposage au sein des unités

Les trois unités disposent chacune d'une piscine de désactivation conçue pour assurer l'entreposage provisoire des assemblages de combustible utilisé. Les circuits de traitement de ces piscines (CTP) sont dimensionnés pour résister au séisme DBE.

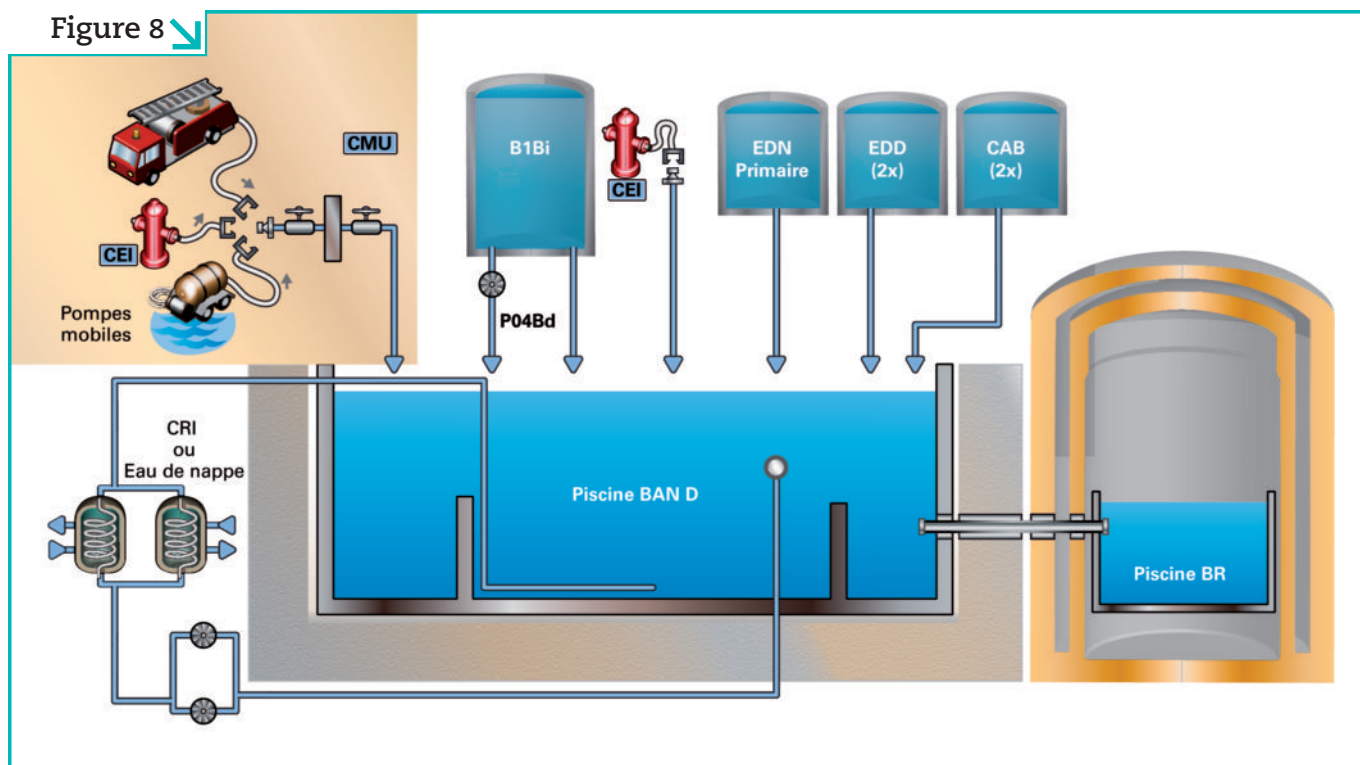
Unité 1

Le circuit de refroidissement CTP de l'unité 1 est constitué de deux pompes et deux échangeurs eau/eau. Ces échangeurs sont refroidis par le CRI, lui-même refroidi par trois échangeurs CRI/CEB. En situation normale d'exploitation, un train CTP (une pompe et un échangeur) est en service et les équipements du deuxième train sont prêts à prendre la relève en cas de problème sur le premier train. La piscine est conçue pour garantir un contrôle de la réactivité même en fonctionnant avec de l'eau ne contenant pas de bore. Les râteliers d'entreposage des assemblages combustibles sont en effet constitués d'acier boré, et leur géométrie spécialement étudiée. En cas de perte du CRI, le refroidissement peut être assuré par de l'eau de nappe. Le volume total de la piscine est d'environ 1 500 m³ et assure un minimum de 7 mètres d'eau au-dessus du sommet des râteliers d'entreposage du combustible. En cas de sollicitation du premier niveau, il est possible de réalimenter les pompes CTP par les groupes Diesel de premier niveau (GDS). En cas de sollicitation du second niveau de l'unité 1 (SUR) par perte des alimentations électriques, il est possible de ligner manuellement la pompe P04Bd sur les échangeurs et ainsi assurer un refroidissement minimum.

Les possibilités d'appoints à la piscine sont multiples et indépendantes :

- au départ du réservoir CTP (1 650 m³) gravitairement ou par la P04Bd ;
- par les réservoirs d'EDD (2 x 200 m³) ;
- par les réservoirs CAB (2 x 63 m³) ;
- par le réservoir de préparation (4,5 m³) ;
- par le réservoir d'EDN primaire (250 m³) ;
- par le CEI ;
- par la ligne du CMU extérieure au bâtiment.

Figure 8



CTPT1.

Unités 2 et 3

Le circuit CTP des unités 2 et 3 est constitué de deux pompes et de deux échangeurs eau/eau. Les échangeurs sont refroidis par l'eau des trois trains du circuit de refroidissement intermédiaire (CRI), qui est acheminée *via* un collecteur. Chaque train CRI est composé d'une pompe et d'un échangeur refroidi par le circuit d'eau brute (CEB), lui-même composé de trois trains.

En situation normale d'exploitation, un train CTP (une pompe et un échangeur) est en service et les équipements du deuxième train sont prêts à prendre la relève en cas de problème sur le premier. Ces piscines sont conçues pour garantir un contrôle de la réactivité même en fonctionnant avec de l'eau ne contenant pas de bore. Les râteliers d'entreposage des assemblages combustibles sont en effet constitués d'acier boré.

En cas de sollicitation du second niveau de protection de Tihange 2 et 3, le refroidissement des échangeurs CTP peut être assuré par le CRU. Il est prévu de réalimenter le CTP en électricité, en déplaçant les cellules électriques d'une embase à une autre, par les groupes Diesel d'ultime secours (GDU) trois heures après la sollicitation.

Les possibilités d'appoints à la piscine sont multiples et indépendantes :

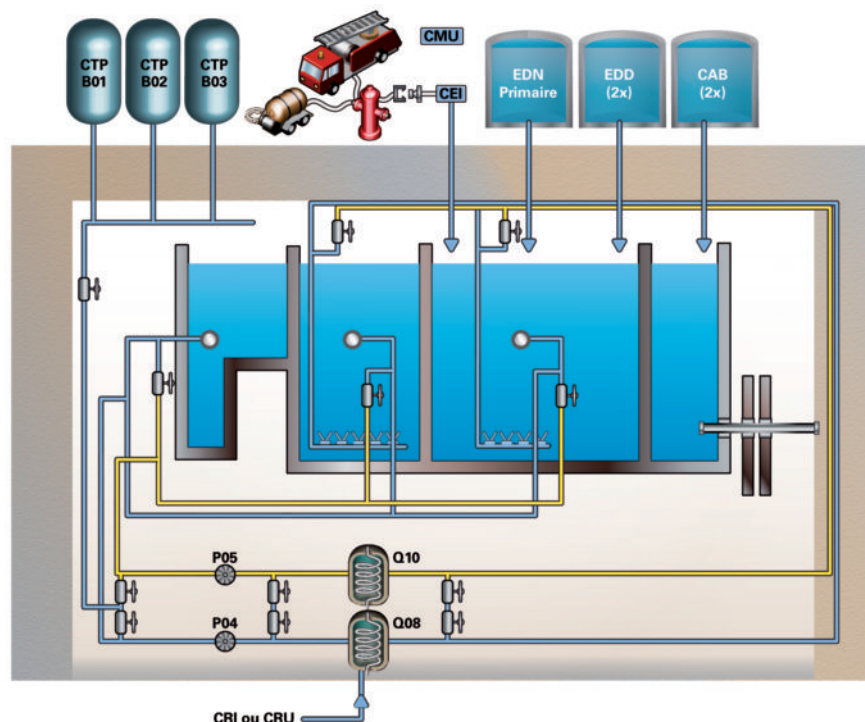
Unité 2

- au départ des réservoirs CTP (3 x 800 m³);
- par les réservoirs d'EDD (2 x 225 m³);
- par les réservoirs CAB (2 x 67 m³),
- par le réservoir de préparation (3,8 m³),
- par le réservoir d'EDN primaire (300 m³);
- par le CEI;
- par le CIU et le CRP si piscines interconnectées;
- par la ligne du CMU extérieure au bâtiment.

Unité 3

- au départ des réservoirs CTP (3 x 800 m³);
- par les réservoirs d'EDD (2 x 318 m³);
- par les réservoirs CAB (2 x 98 m³),
- par le réservoir de préparation (3 m³),
- par le réservoir d'EDN primaire (500 m³);
- par le CEI;
- par le CIU et le CRP si piscines interconnectées;
- par la ligne du CMU extérieure au bâtiment.

Figure 9



CTPT2-T3.

1.2.2.2. Entreposage dans le bâtiment DE

Le bâtiment DE est une extension de la capacité d'entreposage des assemblages de combustible usé sur le site de Tihange et dépend des alimentations électriques de l'unité 3. Il contient huit piscines disposant d'une capacité de 465 assemblages de combustible chacune. Il est conçu pour entreposer les assemblages de combustible usé qui ont séjourné au moins deux années dans les piscines de désactivation des unités. En pratique, les éléments combustibles sont transférés vers le DE après un séjour de cinq ans (minimum deux ans) dans la piscine d'entreposage de l'unité, avec pour conséquence une chaleur résiduelle plus faible. Les systèmes et composants importants pour la sûreté du bâtiment DE sont conçus pour résister aux effets des phénomènes naturels, des séismes et des accidents d'origine externe (chute d'avion, explosion) sans perdre leurs fonctions de sûreté. Le circuit de refroidissement des piscines DE est également constitué de deux pompes STP et de deux échangeurs eau/eau. Ces échangeurs sont refroidis par le SRI (extension du CRI), lui-même refroidi par les échangeurs CRI/CEB. Ces piscines sont également conçues pour garantir un contrôle de la réactivité, même en fonctionnant avec de l'eau ne contenant pas de bore. Les râteliers d'entreposage des assemblages combustibles sont en effet constitués d'acier boré. En situation normale d'exploitation, un train STP (une pompe et un échangeur) est en service et les équipements du deuxième train sont prêts à prendre la relève en cas de problème sur le premier train.

Les systèmes de refroidissement peuvent être secourus par le deuxième niveau de protection de l'unité 3.

Ces piscines sont interconnectées et intégralement remplies en eau, ce qui leur confère une inertie thermique extrêmement importante (la barrière biologique est maintenue au-delà de deux semaines sans aucun refroidissement).

1.3

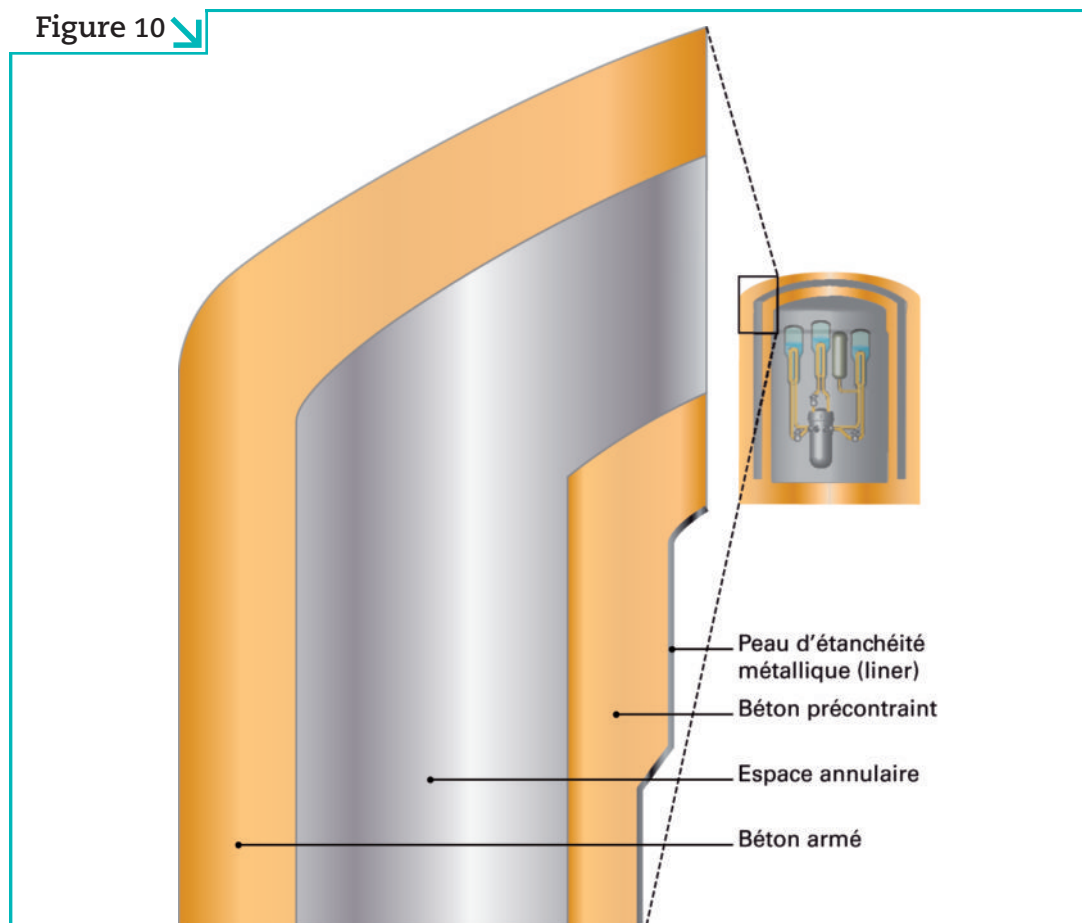
Enceintes de confinement

Les trois unités du site de Tihange sont munies d'une double enceinte de confinement. L'enceinte intérieure est en béton armé précontraint et munie d'une peau d'étanchéité métallique soudée (*liner*) tandis que l'enceinte extérieure est en béton armé.

L'enceinte intérieure est dimensionnée pour résister à la pression engendrée par une hypothétique large brèche sur le circuit primaire ou une rupture de tuyauterie vapeur.

Les deux enceintes sont séparées par un espace annulaire maintenu en dépression par un système de ventilation avec filtration.

Figure 10



Double enceinte de confinement.

1.4 Alimentations électriques

1.4.1. Généralités

Chaque unité du site de Tihange est raccordée au réseau extérieur de grand transport de l'électricité par plusieurs alimentations électriques.

L'alimentation principale du site de Tihange est assurée entre chaque unité et le poste très haute tension de Gramme par une ou plusieurs lignes aériennes à très haute tension en 380 kV, suivant les unités.

La seconde alimentation externe des trois unités est assurée par un poste très haute tension 150 kV installé sur le site de Tihange et disposant de trois alimentations *via* deux cheminements différents indépendants, le premier étant une double alimentation depuis le poste très haute tension 150 kV de Gramme, le second cheminement étant une alimentation en antenne depuis Gramme et la centrale des Awirs. Cela permet donc d'être alimenté par la centrale des Awirs, le cas échéant. Chacun de ces cheminements a la capacité d'alimenter, à lui seul, tous les auxiliaires nécessaires à la mise à l'arrêt des trois unités simultanément.

En cas de perte totale du réseau extérieur (LOOP), ce qui comprend la perte simultanée des réseaux extérieurs 380 kV et 150 kV, les moyens suivants peuvent garantir l'alimentation des auxiliaires de la centrale et sa reconnexion au réseau 380 kV :

- l'ilotage automatique du groupe turboalternateur (des groupes pour l'unité 1) de l'unité *via* les protections électriques. Cette action permet d'alimenter l'ensemble des auxiliaires de l'unité ;
- la connexion des unités de Tihange à la station de pompage de Coe afin de réalimenter les auxiliaires d'une des trois unités en cas d'échec total de l'ilotage. Cette alimentation se fait *via* les

Alimentations électriques unité 1.

Figure 11

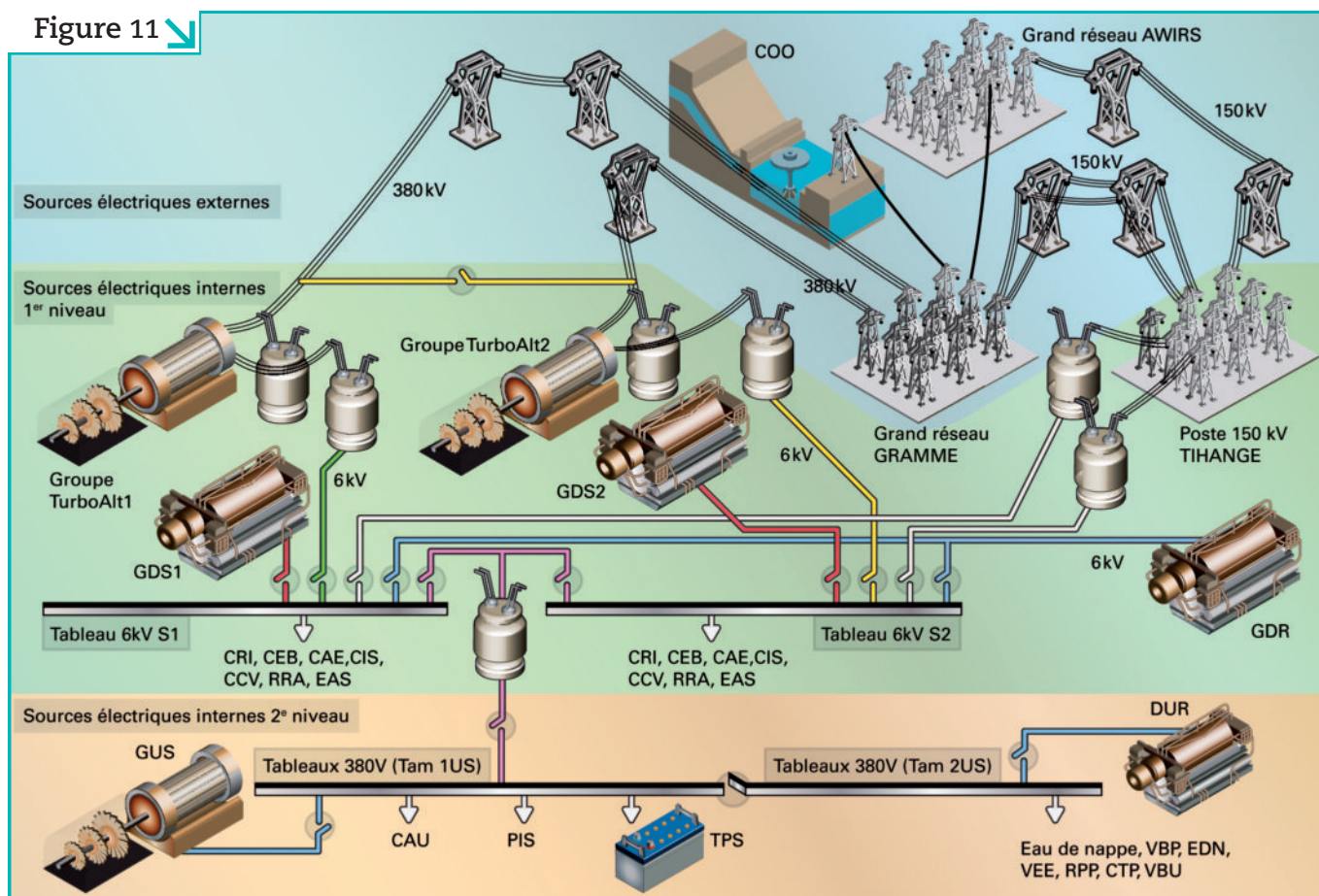
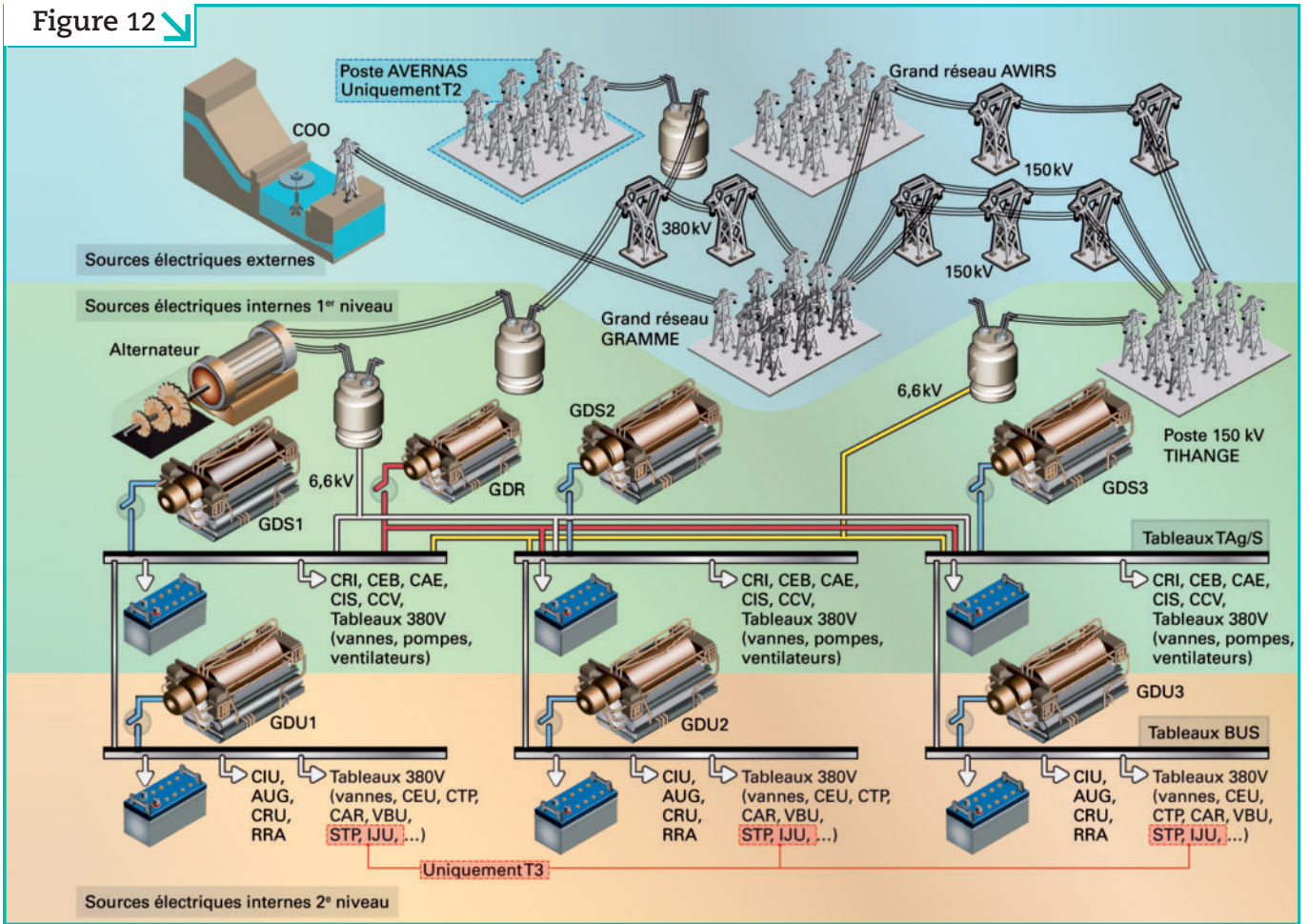


Figure 12



Alimentations électriques
unités 2 et 3

lignes à très haute tension 150 kV situées entre Tihange et Coo (en 380 kV entre les postes de Brume et de Gramme, ensuite en 150 kV via le transformateur 380/150 kV de Gramme) ;

- si une seule des trois unités de Tihange réussit l'opération d'ilotage, la connexion de cette unité à la station de pompage de Coo est possible *via* le réseau 380 kV. La réalisation de cette connexion entre Tihange et Coo permet alors la réalimentation des auxiliaires des deux autres unités par le réseau :
 - des groupes Diesel de secours (GDS) alimentant les équipements de sûreté ;
 - des groupes Diesel ultimes (GDU, uniquement sur les unités 2 et 3) alimentant les équipements du BUS.
- un groupe turbo alternateur et un Diesel d'ultime repli pour alimenter le second niveau de l'unité 1.

Ces nombreux niveaux de protection démontrent la forte robustesse des installations du site de Tihange vis-à-vis de la perte totale des alimentations électriques et, de ce fait, rendent cette situation hautement improbable.

1.4.2. Tihange 1

En cas d'échec de l'ilotage des turbos groupes alternateurs de l'unité, et jusqu'au moment où une alimentation extérieure peut être rétablie, les moyens supplémentaires suivants garantissent l'alimentation des auxiliaires ayant une fonction de sûreté :

- deux Groupes Diesel de Secours (GDS) classés 1E (DBE) et refroidis par l'eau de Meuse (CEB) ou l'eau de nappe en cas de perte de la Meuse. Ces groupes Diesel disposent d'une autonomie minimum de 3,5 jours (seuil des spécifications techniques) sans aucun appoint intérieur ou extérieur au site, dans le cas le plus défavorable en terme de charge et de 20 jours en régime économique. Il est à noter que la réalimentation des réservoirs des groupes électrogènes peut

être réalisée par gravité par un réservoir de 450 m³ sur le site. Cela augmente considérablement l'autonomie dans tous les cas de figure et permet d'organiser un réapprovisionnement extérieur par nos moyens contractuels ;

- un Groupe Diesel de Réserve (GDR) classé 1E (DBE), commun aux trois unités de Tihange, physiquement installé sur le site de Tihange 2 et refroidi par un aéroréfrigérant (indépendamment de la Meuse). Ce groupe, d'une autonomie de 7 jours sans aucun appoint intérieur ou extérieur au site dans le cas le plus défavorable en terme de charge, et de 25 jours en régime économique, peut être utilisé en remplacement d'un des Groupes Diesel de Secours de n'importe quelle unité de Tihange ;
- le SUR (Système d'Ultime Repli) comprenant un groupe turbo alternateur (GUS) alimentant de manière automatique les auxiliaires de la turbo pompe EAS, le CAU et la pompe d'injection de secours aux joints des pompes du circuit primaire (PIS) ; un groupe Diesel d'ultime repli (DUR) permettant l'alimentation manuelle de certains équipements essentiels pour maintenir le réacteur en état stable et contrôlé. Le SUR est qualifié au séisme DBE.

Les derniers éléments auxquels il peut être fait appel sont les batteries dont le dimensionnement garantit l'alimentation de l'instrumentation et du contrôle commande pendant plusieurs heures.

1.4.3. Tihange 2 et 3

En cas d'échec de l'ilotage de l'unité concernée, et jusqu'au moment où une alimentation extérieure peut être rétablie, les moyens suivants (indépendants et redondants) garantissent l'alimentation des auxiliaires ayant une fonction de Sûreté :

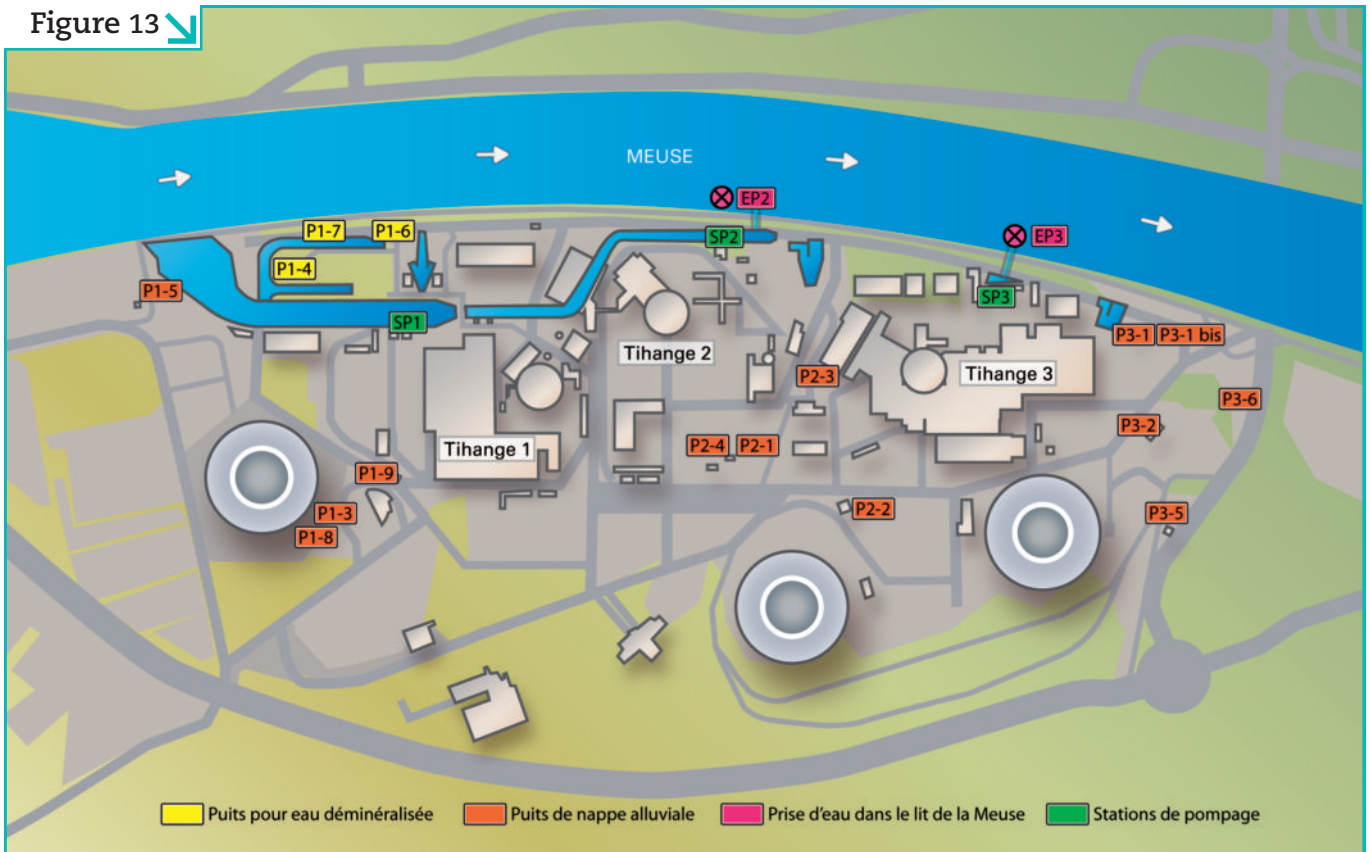
- trois Groupes Diesel de Secours (GDS) classés 1E (DBE) par unité et refroidis par l'eau de Meuse (CEB). Ces groupes Diesel ont une autonomie de 7 jours (seuil des spécifications techniques) sans aucun appoint intérieur ou extérieur au site dans le cas le plus défavorable en terme de charge, et de 25 jours en régime économique ;
- un Groupe Diesel de Réserve (GDR) classé 1E (DBE), commun aux trois unités de Tihange, physiquement installé sur le site de Tihange 2 et refroidi par un aéroréfrigérant (indépendamment de la Meuse). Ce groupe, d'une autonomie de 7 jours sans aucun appoint intérieur ou extérieur au site dans le cas le plus défavorable en terme de charge et de 25 jours en régime économique, peut être utilisé en remplacement d'un des Groupe Diesel de Secours de n'importe quelle unité de Tihange ;
- trois Groupes Diesel d'Ultime Secours (GDU) classés 1E (DBE) par unité, installés dans le bunker de l'unité (BUS) et pouvant être refroidis par l'eau de Meuse ou l'eau de nappe (CEU). Ces groupes, d'une autonomie de 7 jours, sans aucun appoint intérieur ou extérieur au site dans le cas le plus défavorable en terme de charge, sont dimensionnés pour assurer la mise à l'arrêt stable et contrôlé et le maintien de cet état. Ces groupes Diesel et les systèmes qu'ils alimentent sont protégés contre les accidents d'origine externe à la centrale ;
- un groupe électrogène du circuit CMU, indépendant et refroidi à l'air, peut être rapidement connecté pour réalimenter les TAR.

Les derniers éléments auxquels il peut être fait appel sont les batteries dont le dimensionnement garantit l'alimentation de l'instrumentation et du contrôle commande pendant plusieurs heures.

1.5

Alimentations en eau de refroidissement

Figure 13



Sources d'eau de refroidissement.

1.5.1. Tihange 1

La source froide principale est la Meuse. L'eau de Meuse est pompée et envoyée vers les équipements utilisateurs secondaires et nucléaires par le circuit d'eau brute (CEB) et est ensuite rejetée en Meuse (circuit ouvert). Les pompes CEB aspirent dans le canal d'amenée qui est une branche artificielle de la Meuse.

Dans le cas d'une baisse importante du niveau d'eau de la Meuse (qui pourrait descendre sous le niveau du fond du canal d'amenée), on procède au lignage du circuit d'eau de nappe.

Ce circuit puise l'eau dans la nappe alluviale par l'intermédiaire de puits séparés par une distance suffisante pour supprimer le risque d'un endommagement à la suite d'un événement simultané d'origine externe.

Une liaison par flexibles au circuit CEU de Tihange 2 permet également de secourir le CEB. Tous les moyens mentionnés ci-dessus sont dimensionnés pour résister à un séisme DBE.

1.5.2. Tihange 2 et 3

La source froide principale est la Meuse. L'eau de Meuse est pompée et envoyée vers les équipements utilisateurs nucléaires par le circuit d'eau brute (CEB) et est ensuite rejetée en Meuse (circuit ouvert). Les pompes CEB aspirent dans le canal d'amenée qui est une branche artificielle de la Meuse.

Dans le cas d'une baisse importante du niveau d'eau de la Meuse (qui pourrait descendre sous le niveau du fond du canal d'amenée), il existe également des prises d'eau profondes dans le lit

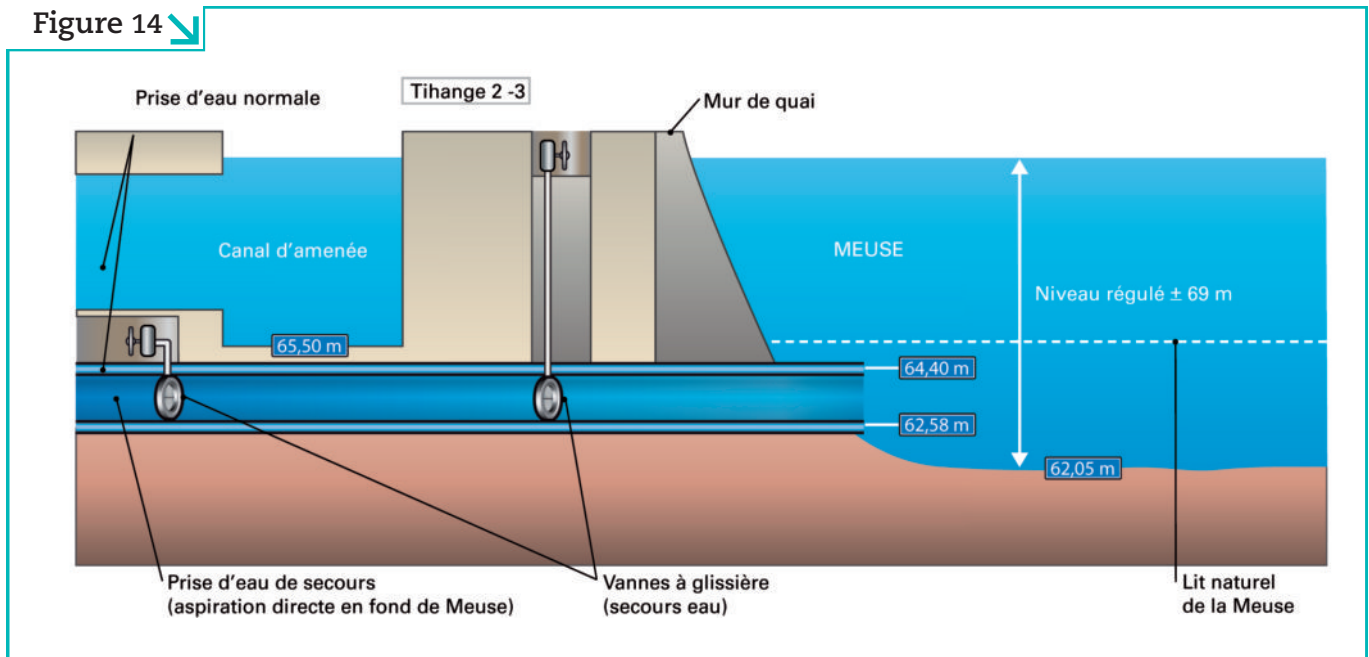
1 DESCRIPTION DU SITE DE TIHANGE

du fleuve qui peuvent alimenter les pompes CEB (*voir ci-dessous*). Cette connexion pourrait être utilisée également dans le cas où une aspiration normale des pompes CEB depuis le canal d'amenée deviendrait impossible pour toute autre raison.

En cas de perte totale de la fonction CEB, un autre circuit entre en action : le circuit d'ultime secours (CEU) qui puise de l'eau dans la nappe phréatique alluviale sous le site de Tihange, et peut fournir le refroidissement nécessaire pour amener et maintenir l'unité dans l'état d'arrêt stable et contrôlé. Les pompes CEU peuvent également puiser leur eau dans le lit du fleuve par les prises d'eau profondes.

Tous les moyens mentionnés ci-dessus sont dimensionnés pour résister à un séisme DBE.

Figure 14



Prises profondes en Meuse.

1.5.3. Site

Outre les moyens cités ci-dessus, le site de Tihange dispose de deux autres sources aquifères totalement indépendantes de la nappe phréatique alluviale, et indépendantes entre elles quant à leur mode de réalimentation. Il s'agit d'une nappe aquifère calcaire et d'une nappe aquifère de dolomies. Deux puits sont creusés dans la nappe calcaire et un dans la nappe de dolomies. Les pompages dans ces puits sont destinés à la production d'eau déminéralisée pour l'ensemble du site. Des piquages sont prévus de manière à pouvoir disposer d'une troisième et d'une quatrième source alternative d'alimentation en eau de refroidissement. Les essais de pompages de longue durée dans ces nappes ont montré que les débits obtenus sont largement suffisants pour assurer un refroidissement à long terme des trois unités, même en période de sécheresse.

1.6

Études PSA

Les études probabilistes de sûreté ont été débutées à l'initiative de l'exploitant EBL avant d'être intégrées dans les Révisions Périodiques de Sûreté.

Les études PSA couvrent les états de puissance et d'arrêt.

L'étendue de ces études PSA couvre les événements d'origine interne. Les événements initiateurs considérés sont :

- les accidents de perte de réfrigérant primaire (LOCA) ;
- les ruptures de tuyauterie secondaire ;
- la perte de tableaux électrique ;
- la perte du réseau extérieur (LOOP) ;
- la perte d'air d'instrumentation ;
- la rupture de tubes de générateur de vapeur ;
- les transitoires primaires et secondaires ;
- certains signaux intempestifs ;
- la perte des chaînes de refroidissement. La perte totale du système de refroidissement CRI/CEB est considérée comme événement initiateur.

L'accident de *station black-out* est considéré *via* l'événement initiateur LOOP dans lequel les défaillances potentielles des Diesel de premier et deuxième niveaux sont prises en compte.

Des études probabilistes du risque lié à l'incendie et l'inondation interne débutent pour les unités belges. Aucun accident d'origine externe ni initiateur relatif aux piscines de désactivation n'est pris en compte à l'heure actuelle dans les PSA des unités belges.

Le bénéfice des systèmes de second niveau de Tihange 2 et 3 est clairement visible dans les résultats des événements initiateurs de perte d'un système support. Ces études ont permis l'amélioration de procédures accidentelles ainsi que l'identification de points d'amélioration possibles.

Les modes de défaillance de l'enceinte ont été pris en compte dans les études PSA pour les unités de Doel 1-2 et de Tihange 1 dans les années 1990. Actuellement, un PSA complet comprenant les relâchements de produits de fission pour les différents modes de défaillance de l'enceinte est en cours de réalisation pour toutes les unités représentatives belges.

1.7

Glossaire

Abréviations	Signification
A.R.	Arrêté Royal
AAC	Arrêt À Chaud
AAF	Arrêt À Froid
AC	Courant alternatif (Alternating Current)
ADR	Accident De Référence
AFCN	Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire
AIEA-IAEA	Agence Internationale Énergie Atomique - International Atomic Energy Agency
AOE	Agressions d'Origine Externe
APRP	Accident de Perte de Réfrigérant Primaire
ASME	American Society of Mechanical Engineers
AT	Arrêt de Tranche
AUG	Alimentation Ultime secours des GV
B	Bâtiment bureau
B01Bi	Réservoir de remplissage piscine de Tihange 1
B4	Sujet de Révision Périodique de Sûreté de la protection contre l'inondation du site
BAE	Bâtiment Auxiliaires Électriques
BAN	Bâtiments Auxiliaires Nucléaires
BAN-D	Bâtiments Auxiliaires Nucléaires - D (D pour piscine de Désactivation)
BAN-N	Bâtiments Auxiliaires Nucléaires - N (N pour Normaux)
BAN-profond	Bâtiments Auxiliaires Nucléaires (unités 2 et 3)
BDE	Beyond Design Earthquake (au-delà du séisme de conception)
BelV	Organisme de contrôle des installations nucléaires (filiale de l'AFCN)
Beyond DBF	Beyond Design Basis Flooding (au-delà de la crue de conception)
BMMT	Base Mat MeltThrough (percement du radier par le corium)
BP	Basse Pression
BR	Bâtiment Réacteur
BUR	Bâtiment d'Ultime Repli (Tihange 1)
BUS	Bâtiment d'Ultime Secours (Tihange 2-3)
CAB	Circuit d'Appoint en Bore
CAE	Circuit d'Aspersion d'Enceinte
CAR	Circuit d'Air comprimé de Régulation
CARA	Centre d'Accueil et de Repli des Awirs
CAS	Circuit d'Air de Service
CAU	Circuit d'Air Ultime
CCE	Circuit Chantier École
CCV	Circuit de Charge et de contrôle Volumétrique
CDF	Core Damage Frequency
CE	Commission Européenne
CEB	Circuit d'Eau Brute
CEC	Circuit d'Eau de Circulation
CEE	Circuit d'Eau d'Extraction
CEG	Circuit d'Eau Glacée
CEI	Circuit d'Eau d'Incendie
CELEVAL	CELLule d'EVALuation
CEU	Circuit d'Eau Ultime (Tihange 2-3)
CEX	Circuit d'exhaure dans les bâtiments nucléaires

Abréviations	Signification
CFN	Centre de Formation Nucléaire
CFR	Code of Federal Regulations
CGCCR	Centre Gouvernemental de Coordination et de Crise
CHE	Contrôle de l'Hydrogène dans l'Enceinte
CHRH	Centre Hospitalier Régional de Huy
CHU	Centre Hospitalier Universitaire (Sart Tilman-Liège)
CIS	Circuit d'Injection de Sécurité
CIU	Circuit d'Injection Ultime
Cliff edge effect	Effet falaise
CMCPB	Centre de Management de Crise Production Belgique
CMU	Circuit de Moyens Ultimes
CNSI	Committee on the Safety of Nuclear Installations
CNT	Centrale Nucléaire de Tihange
COS	Centre Opérationnel de Site
COT	Centre Opérationnel de Tranche
CPR	Circuit de Protection du Réacteur
CPW	Circuit Protection du réacteur du second niveau (AOE)
CRI	Circuit de Réfrigération Intermédiaire
CRP	Circuit de Réfrigération Primaire
CRU	Circuit de Refroidissement Ultime
CSC	Conditionnement des Salles de Commande et traitement d'information
CTP	Circuit de Traitement des Piscines de désactivation
CTR	Zone de contrôle aérien autour d'un aérodrome
CUS	Circuit d'Ultime Secours
CVA	Circuit Vapeur Auxiliaire
CVC	Circuit de Vapeur de Contournement
CVD	Contournement Vapeur Désurchauffe condenseur (ou atmosphère-Tihange 1)
CVP	Circuit de Vapeur Principal
D	Bâtiment Désactivation
DBE	Design Basis Earthquake (séisme de dimensionnement)
DBF	Design Basis Flooding (crue de référence)
DC	Direct Current (courant continu)
DE	Bâtiment entreposage des assemblages de combustible usé
DEA	Défibrillateur Externe Automatique
DM	Dossier de Modification
DMV	Direction générale de la Mobilité et des Voies navigables (anciennement SETHY)
DUR	Diesel d'Ultime Repli (Tihange 1)
EA	Espace annulaire
EAA	Eau Alimentaire Auxiliaire (Tihange 2-3)
EAN	Eau Alimentaire Normale
EAS	Eau Alimentaire de Secours (Tihange 1)
EBL	Electrabel
ECA	Emergency Contingency Actions
ECOS	Emergency Call Out System
EDD	Eau Déminéralisée Dégazée
EDMG	Extensive Damage Mitigating Guidelines
EDN	Eau Déminéralisée Normale
EE	Procédure accident second niveau
EF2	Vitesse sur échelle Fujita entre 50 m/s et 60 m/s
EF3	Vitesse sur échelle Fujita entre 61 m/s et 75 m/s
EF4	Vitesse sur échelle Fujita entre 75 m/s et 89 m/s
EMAS	Eco Management and Audit Scheme
ENSREG	European Nuclear Safety Regulators' Group (Autorité de sûreté nucléaire de l'Union européenne + Commission européenne)

1 DESCRIPTION DU SITE DE TIHANGE

Abréviations	Signification
EOP	Emergency Operations Procedures
EPA	Circuit d'Échantillonnage du liquide Post-Accidentel
EPI	Équipe de Première Intervention
EPRI	Electric Power Research Institute
EQE	European Qualifying Examination
ERG	Emergency Response Guidelines
FA	Filtre Absolu
FETT	Formulaire d'État Technique de la Tranche
FR-C	Function Restoration core Cooling
FROG	FRamatome Owner Group
GBR	Échantillonnage des Gaz dans le Bâtiment Réacteur
GCH	Échantillonnage rejet atmosphérique (Gaz CHeminée)
GDR	Groupe Diesel de Réserve
GDS	Groupe Diesel de Secours (1 ^{er} niveau = sauvegarde)
GDU	Groupe Diesel Ultime (2 ^e niveau Tihange 2-3)
GNS	Gebouw voor de Nood Systemen (Bâtiment d'ultime secours Doel 1-2)
GRC	Groupe Diesel de réserve circuit de combustible du GDR/M03
GSC	Groupes Diesel de secours circuit de combustible
GUC	Groupes Diesel d'ultime secours circuit de combustible
GUS	Groupe turbo-alternateur d'Ultime Secours (Tihange 1)
GV	Générateur de Vapeur
HCLPF	High Confidence, Low Probability of Failure
HP	High Pressure (Haute Pression)
I.M.T.R.	Institut Médical de Traumatologie et de Réadaptation (centre des grands brûlés de Loverval)
IDF	Intensité-Durée-Fréquence
IJU	Injection aux Joints Ultime (Tihange 3)
IPS	Important Pour la Sûreté
IRE	Institut National des Radioéléments
IRM	Institut Royal Météorologique
IS	Injection de Sécurité
ISBP	Injection de Sécurité Basse Pression
ISHP	Injection de Sécurité Haute Pression
ISLOCA	Interfacing System Loss Of Coolant Accident
ISO 14001	Norme concernant le management environnemental de l'Organisme International de Normalisation
ISP	Institut Scientifique de Santé Publique
JCO	Justification for Continued Operation
K	Bâtiment des pompes EAA
L	Low
LOCA	Loss Of Coolant Accident
LOOP	Loss Of Outside Power: perte du réseau électrique extérieur
LPA	Liquide Post-Accidentel
LTO	Long Term Operation
M	Medium
MOX	Mixed Oxide (mélange d'UO ₂ et de PuO ₂)
MPA	Moto Pompe Alimentaire (Tihange 2-3)
MPS	Moto Pompe de Secours (Tihange 1)
MSK	Échelle de Medvedev, Sponheuer et Kárnik (mesure l'intensité d'un tremblement de terre)
MTU	Alimentation électrique Ultimes Secours
MW	Mégawatt
N	Bâtiment des auxiliaires nucléaires
NA	Non applicable
NBN 15-1963	Réglementation appliquée pour définir les surcharges pour Tihange 1

Abréviations	Signification
NBN B 15-103	Réglementation appliquée pour définir les surcharges pour Tihange 2 et 3
NBN C18-100	Norme concernant la foudre
NBN EN (CEI)	Nouvelle norme contre la foudre pour les nouveaux bâtiments
NBN EN 1991-1-3ANB	Réglementation en vigueur: Annexe nationale belge des normes européennes Eurocode 1.
NEI	Nuclear Energy Institute
NF	Notice de Fonctionnement
NPSH	Net Positive Suction Head
NRC	Nuclear Regulatory Commission
NUREG	Nuclear Regulatory Group
O	Bâtiment stockage fuel GDU
OBE	Operating Basis Earthquake
OHSAS 18001	Occupational Health and Safety Assessment Series (Système de Management de la Santé et de la Sécurité au Travail)
ONO	Orientation O-N-O
ORB	Observatoire Royal de Belgique
OSO	Orientation O-S-O
P	Station de pompage
PAMS	Post-Accident Monitoring System (chaîne de mesures post-accidentelles)
PAR	Passive Autocatalytic Recombiner (Recombineur autocatalytique passif)
PCA	Piège à Charbon Actif
PdR	Panneau de repli
PDT	Panneau De Transfert
PDT/UR	Panneau De Transfert Ultime Repli (Tihange 1)
PED	Circuit de Production d'Eau Déminéralisée
PGA	Peak Ground Acceleration (accélération maximale au sol)
PIS	Pompe d'Injection de Secours (Tihange 1)
PIU	Plan Interne d'Urgence
PORV	Power Operated Relief Valve (vanne de décharge pressuriseur)
PR	Panneau de Repli
PSA	Probabilistic Safety Assessment (Études probabilistes de sûreté)
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard Analysis (analyse probabiliste de l'aléa sismique)
PUR	Panneau d'Ultime Repli (Tihange 1)
PWR	Pressurized Water Reactor (Réacteur à eau pressurisée)
PWROG	PWR Owners Group (anciennement WOG)
RC	Reactor Coolant
RCQ /REQ/RSQ	Recyclage Connaissances des Équipes de quart (RCQ); Révision en Équipe de Quart (REQ); Recyclage sur Simulateur des équipes de quart (RSQ)
RDC	Rez-de-chaussée
REP	Réacteur à Eau Pressurisée
REX	Retour d'EXpérience
RF	Résistant au Feu
RG	Regulatory Guide
RGPT	Règlement Général pour la Protection du Travail
RLE	Review Level Earthquake
RPP	Circuit de Régulation de Pression Primaire
RRA	Refroidissement Réacteur à l'Arrêt
RS	Rapport de sûreté
RTGV	Rupture Tube Générateur de Vapeur
SAB	Circuit d'appoint en eau et bore du DE
SAMG	Severe Accident Management Guidelines
SBO	Station Black-Out
SCK-CEN	Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire (Mol)
SDC	Salle De Commande

1 DESCRIPTION DU SITE DE TIHANGE

Abréviations	Signification
SDN	Circuit d'eau déminéralisée normale du DE
SETHY	Service d'Études HYdrologiques de la Région Wallonne (maintenant DMV)
SEU	Circuit d'Eau Ultime des piscines du DE
SEX	Circuit d'exhaure du bâtiment DE
SG	Steam Generator (générateurs de vapeur)
SGH	Simpson, Gumpertz & Heger
SI	Safety Injection
SMA	Seismic Margin Assessment
SMR	Seismic Margin Review
SOER	Significant Operating Experience Report
SPI	Surveillance Pendant Incident
SQUG	Seismic Qualification Utility Group
SRI	Service Régional d'Incendie de Huy
SRI	Circuit de réfrigération intermédiaire du bâtiment DE
SS	Sous-sol
SSC	Structures, Systèmes et Composants
SSE	Safe Shutdown Earthquake
STE	Spécifications Techniques d'Exploitation
STP	Circuit Traitement d'eau des piscines du DE
Strong winds	Vents violents (ne pas confondre avec tornade, qui est au-delà des vents violents)
SUR	Système d'Ultime Repli (Tihange 1)
TAc	Tableau d'alimentation du contrôle-commande (115 V DC)
TAm	Tableau d'alimentation moyenne tension (380 V AC)
TAr	Tableau d'alimentation à tension régulée (220 V AC)
TEF	Traitement des Effluents
TEG	Traitement des Effluents Gazeux
TPA EAA	Turbo Pompe Alimentaire Eau Alimentaire Auxiliaire
TPA	Turbo Pompe Alimentaire (Tihange 2-3)
TPS	Turbo Pompe de Secours (Tihange 1)
TWh	Térawatt-heure
UCL	Université Catholique de Louvain
UE	Union Européenne
ULg	Université de Liège
USA	United States of America
USAEC	United States Atomic Energy Commission
USNRC	United States Nuclear Regulatory Commission
VBP	Ventilation BAN Piscine de désactivation
VBR	Ventilation Bâtiment Réacteur (Tihange 2-3)
VBU	Ventilation Bâtiment Ultime
VDA	Vannes de Décharge à l'Atmosphère (CVD/CVC)
VDE	Ventilation bâtiment DE
VEA	Ventilation Espace Annulaire
VEE	Ventilation Enceinte Étanche (Tihange 1)
VLE	Ventilation des Locaux Électriques
VRP	Véhicule de Radioprotection
W	Bâtiment BUS
WANO	World Association of Nuclear Operators
WENRA	Western European Nuclear Regulators' Association (Association des Autorités de surveillance nucléaire des pays européens)
WG3	Workgroup 3 (groupe de travail n° 3)
WOG	Westinghouse Owners Group - rebaptisé PWR0G (PWR Owners Group)
Z	Espace annulaire
ZPA	Zero Period Acceleration (fréquence infinie)

2

SÉISME



2.1 Séisme de dimensionnement

p. 50

2.1.1. Séisme pour lequel l'installation est dimensionnée

- 2.1.1.1. Paramètres sismiques retenus à la construction
- 2.1.1.2. Méthodologie
 - 2.1.2.2.1 Démarche déterministe
 - 2.1.2.2.2 Résultats
- 2.1.1.3. Adéquation du séisme pour lequel les installations sont dimensionnées

2.1.2. Dispositions de protection des installations face au séisme de référence

- 2.1.2.1. Structures, systèmes et composants nécessaires à l'arrêt stable et contrôlé, et restant disponibles après le séisme
- 2.1.2.2. Principales dispositions d'exploitation
- 2.1.2.3. Effets indirects des séismes pris en compte lors de la conception

2.1.3. Conformité des installations à leur référentiel actuel

- 2.1.3.1. Organisation générale de l'exploitant pour garantir la conformité
- 2.1.3.2. Organisation de l'exploitant pour les approvisionnements et les équipements mobiles
- 2.1.3.3. Déviations potentielles par rapport au référentiel et actions de remise en conformité
- 2.1.3.4. Vérification spécifique de la conformité des installations à la suite de l'accident de Fukushima

2.2 Évaluation des marges

p. 75

2.2.1. Niveau de séisme auquel la centrale peut résister sans dommage au combustible

- 2.2.1.1. Marges génériques des centrales nucléaires
- 2.2.1.2. Points faibles et effet falaise
- 2.2.1.3. Résultats
- 2.2.1.4. Mesures envisageables pour augmenter la robustesse des installations

2.2.2. Intensité sismique menaçant l'intégrité du confinement

- 2.2.2.1. Introduction
- 2.2.2.2. Tihange 1, 2 et 3
- 2.2.2.3. Conclusion

2.2.3. Séismes supérieurs au séisme de conception et inondations résultantes

- 2.2.3.1. Inondation par la Meuse
- 2.2.3.2. Sources d'inondation situées sur le site
- 2.2.3.3. Conclusion

2.1 Séisme de dimensionnement

➤ La centrale nucléaire de Tihange a été conçue pour résister à un séisme d'une intensité VII ^{1/2} sur l'échelle MSK, correspondant à une magnitude de 6 sur l'échelle de Richter. Une nouvelle étude, menée par l'Observatoire Royal de Belgique (ORB), a montré que le niveau sismique, pour une période de retour de 10 000 ans, est légèrement plus élevé que celui considéré à la conception. De façon générale, la conception du site de Tihange est jugée robuste vis-à-vis du séisme du niveau déterminé par l'étude de l'ORB.

Les régions du nord-ouest de l'Europe sont caractérisées par une activité sismique faible par comparaison à celle observée dans le monde. L'examen de l'environnement géologique et sismotectonique du site a été réalisé sur une région couvrant un cercle de 320 km de rayon, centré sur le site. D'un point de vue géologique, le site de Tihange est situé en bordure nord du massif des Ardennes, dont la formation date de l'ère primaire. Le site des trois unités de la centrale de Tihange est situé dans la plaine alluviale, sur la rive droite de la Meuse. Des études approfondies ont également établi que la composition du sol ne peut correspondre à une faille qui traverserait le site. Néanmoins, les installations de Tihange ont été construites et dimensionnées pour résister à un séisme d'une intensité supérieure au potentiel sismique de cette zone.

2.1.1. Séisme pour lequel l'installation est dimensionnée

2.1.1.1 Paramètres sismiques retenus à la construction

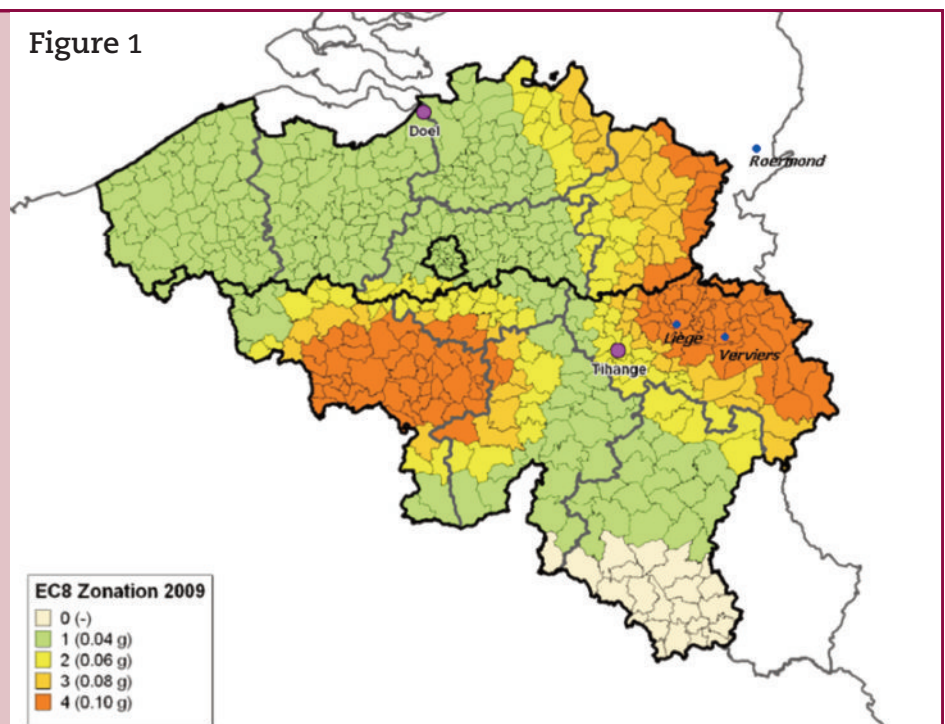
L'unité Tihange 1 a été construite pour résister à un DBE caractérisé par une accélération maximale au sol (PGA) de 0,1 g. En conformité avec la pratique réglementaire dans l'industrie nucléaire

Aléa sismique

L'aléa sismique indique la probabilité de survenue d'un événement sismique, autrement dit l'occurrence des tremblements de terre durant une période de temps donnée. Il se calcule selon deux méthodes différentes : l'analyse probabiliste de l'aléa sismique (en anglais PSHA pour *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) et l'approche déterministe.

Les deux méthodes exigent la connaissance préalable de l'histoire sismique de la zone considérée, c'est-à-dire la distribution des séismes dans le temps et l'espace. À titre d'exemple, la carte ci-contre représente l'aléa sismique de la Belgique.

Figure 1



(10 CFR 100, IAEA50.SG.S1) de l'époque, cette valeur a été déterminée en appliquant l'approche déterministe, décrite ci-après. Ce niveau sismique correspond par ailleurs au minimum forfaitaire préconisé par la réglementation applicable à la construction de Tihange 2 et 3. Toutefois, suite à une réévaluation du niveau sismique du site lors de la première Révision Périodique de Sûreté de l'unité 1, l'accélération maximale au sol (PGA) a été relevée à 0,17 g pour les trois unités de Tihange. Cette réévaluation a eu lieu après la construction de Tihange 1 et durant la construction des unités 2 et 3. Les évaluations et modifications réalisées ont permis de porter le DBE des trois unités de Tihange à 0,17 g.

2.1.1.2 Méthodologie

2.1.1.2.1 Démarche déterministe

a) Zone sismotectonique

Zones géographiques dans lesquelles la probabilité d'occurrence d'un séisme de caractéristiques données (magnitude, profondeur focale) peut être considérée homogène en tout point : ces zones s'articulent en général autour d'une même faille ou d'une même structure tectonique. Le territoire national a donc été découpé en zones considérées comme homogènes du point de vue de leur potentiel à engendrer des séismes en fonction de l'analyse des paramètres géologiques et sismologiques de l'ensemble des séismes et paléoséismes qui se sont historiquement produits.

b) Approche sismotectonique

Le fondement de la démarche consiste à postuler que des séismes analogues aux événements historiquement connus sont susceptibles de se reproduire à l'avenir, à n'importe quel point de la zone sismotectonique à laquelle appartient leur épicerentre. Cela inclut donc les positions d'épicerentre les plus pénalisantes pour le site de Tihange, tout en restant compatible avec les données géologiques et sismologiques. L'approche utilisée pour définir le SSE consiste à délimiter les zones sismotectoniques entourant le site, les **failles sismogènes** actives, et retenir le ou les séismes historiquement connus qui, déplacés à l'intérieur de leur zone ou le long des failles identifiées, produisent les intensités les plus fortes sur le site de Tihange, ce qui constitue une première marge de sécurité. Cela signifie que :

- a) les séismes de la zone à laquelle appartient le site sont considérés comme pouvant se produire à la verticale du site ;
- b) les séismes des autres zones sont considérés comme pouvant se produire au point le plus proche du site selon la zone ou de la faille active à laquelle ils appartiennent.

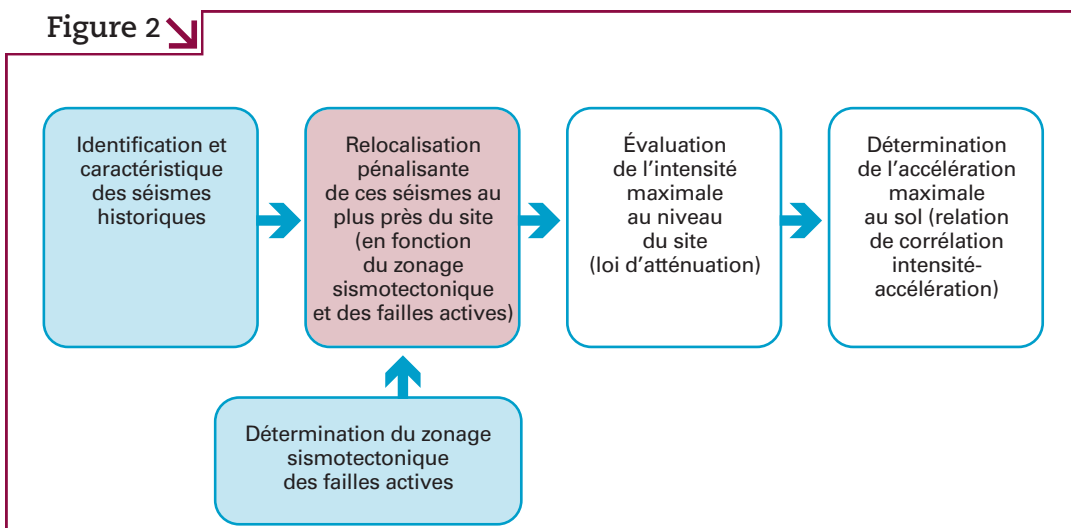
L'intensité du SSE est alors déterminée en tenant compte des lois d'atténuation des ondes sismiques dans les couches profondes.

L'accélération maximale au niveau du sol (PGA) correspondant à ce SSE est ensuite déduite à partir de courbes de corrélation « intensité-accélération maximale au sol »

Références de dimensionnement
 Le séisme **SSE** (*Safe Shutdown Earthquake*) caractérise le niveau sismique auquel est exposé le site et vis-à-vis duquel les fonctions de sûreté doivent être assurées, de manière à garantir la mise et le maintien du réacteur dans un état d'arrêt stable et contrôlé.
 Le séisme **DBE** (*Design Basis Earthquake*) est le niveau sismique effectivement pris en compte dans les calculs de dimensionnement de l'installation. Pour nos unités, il est égal au SSE.
 Le séisme « **OBE** » (*Operating Basis Earthquake*) : niveau de séisme en dessous duquel la centrale peut continuer à fonctionner sans risque pour le public et qui, en cas de dépassement lors d'un tremblement de terre affectant le site, nécessite l'arrêt du réacteur pour inspection.

Faille sismogène
 Faille sur laquelle une rupture et un glissement se sont produits à une période récente (géologique) et dont on présume qu'elle pourrait engendrer un séisme au cours d'une nouvelle rupture (appelée aussi faille active).

Figure 2



Principe de l'approche sismotectonique.

c) Approche historique

La démarche consiste à déterminer le ou les séisme(s) les plus importants pouvant se manifester sur le site compte tenu des observations historiques et des connaissances géologiques et sismo-tectoniques de la région.

Les séismes pris en considération pour réaliser cette étude sont les séismes historiquement les plus importants de chaque zone sismotectonique. La figure ci-dessous expose les séismes historiques pertinents pour Tihange.

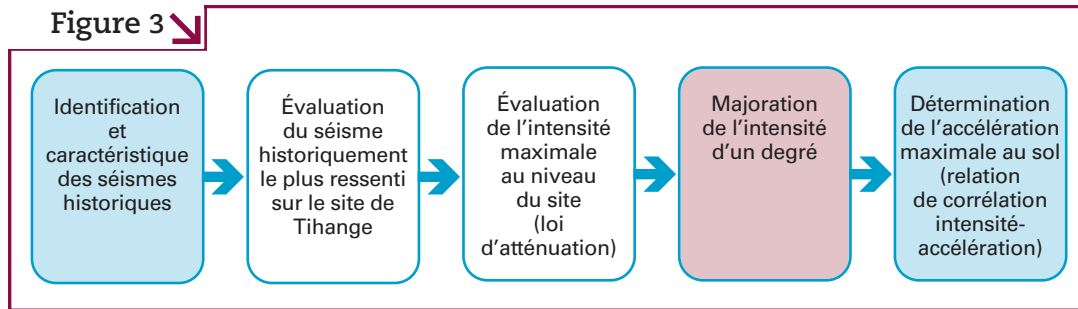
Pour déterminer le séisme de référence du site, on retient le tremblement de terre historique reconnu comme le plus fortement ressenti à Tihange.

Tableau 1 ↘

Séismes les plus importants considérés pour l'approche historique

Localité-date	Heure	Intensité	Profondeur du foyer	Rayon macrosismique	Magnitude
BASSIN DU HAINAUT Strepy-Bracquenies 15 décembre 1965	12 h 07	VII	6,5 km	25,5 km	4,4
Chapelle-Lez-Herlaimont 16 janvier 1966	12 h 32	VII	5 km	34,8 km	4,4
Camières 28 mars 1967	15 h 49	VII	3 km		4,6
RÉGION DES FLANDRES ET DU BRABANT Tirlemont 18 septembre 1692	14 h 15	VII	27 km	430 km	6
Tirlemont 23 février 1828	8 h 30	VII	17 km	220 km	5,4
Zulzich-Nukerke 11 juin 1938	10 h 57	VII	24 km	340 km	5,9
RÉGION DE LIÈGE Pulseur 12 novembre 1908	9 h 14	VI		60 km	4,1
Theux 7 septembre 1951	23 h 06	VI	13 km	165 km	4,4
Ans-Vottem 21 décembre 1965	10 h	VII	3,3 km	13,5 km	4,4
Liège 8 novembre 1983	0 h 49	VII	4,1 km		4,9
RÉGION DES FLANDRES ET DU BRABANT Duren 26 décembre 1755	16 h	VII		160 km	4,5
Duren 18 février 1756	7 h 45	VIII	16 km	460 km	6
St Goar 29 juillet 1846	21 h 24	VII	10 km	280 km	5,4
Herzogenrath 24 juin 1877	8 h 53	VIII	2 km	120 km	4,7
Tollhausen 26 août 1878	8 h 50	VIII	9 km	370 km	5,4

L'intensité du SSE est alors déterminée en tenant compte des lois d'atténuation des ondes sismiques représentatives et en prenant une marge de sécurité correspondant à une augmentation d'un degré d'intensité macrosismique sur l'échelle MSK par rapport au séisme le plus fortement ressenti sur le site de Tihange.



Principe de l'approche historique

d) Corrélation PGA – intensité sismique

Pour les deux approches (sismotectonique et historique), l'accélération maximale au niveau du sol (PGA) correspondant à ce SSE est ensuite déduite à partir de courbes de corrélation « intensité-accélération maximale au sol ». La corrélation entre l'accélération horizontale maximale au sol et l'intensité du séisme a fait l'objet de nombreuses publications qui montrent une dispersion des résultats. Parmi les corrélations fondées sur des observations expérimentales, la corrélation de Trifunac-Brady donne des résultats défavorables, mais il faut remarquer qu'elle a été établie à partir de données relatives à des régions à tectonique active (Ouest des États-Unis). Une corrélation plus adaptée à l'Europe continentale est celle de Medvedev (1978). C'est celle qui a été adoptée par le maître d'ouvrage lors de la conception de l'unité 1.



Paramètres sismiques

Le principal paramètre caractérisant un séisme est l'accélération maximale au niveau du sol (PGA pour *Peak-Ground Acceleration*). Le PGA est en général exprimé en g (le g est une unité représentant l'accélération de la pesanteur terrestre, soit 9,8 m/s² dans le système international). La forme du spectre de fréquence étant caractéristique d'un site donné, on retient comme référence indicative le PGA associé aux fréquences hautes, mais les études de dimensionnement prennent évidemment en compte l'intégralité du spectre. Ce spectre indique en effet la sévérité des réponses des structures et équipements en fonction de leurs fréquences naturelles de vibration. De manière générale, les fréquences basses (de 0 à quelques Hz) affectent plutôt les bâtiments et les fréquences élevées (plus de 10 Hz), les matériels et équipements. Déterminer l'accélération maximale que le sol est susceptible de subir lors d'un tremblement de terre constitue une manière de quantifier le risque sismique en un lieu donné. En règle générale, on retient l'accélération horizontale, la plus destructrice, comme référence pour les calculs de dimensionnement des constructions. Dans les zones très sismiques comme le Japon ou la Turquie, l'ordre de grandeur du PGA peut être supérieur à 0,5 g. En zone faiblement sismique, comme la Belgique, il est généralement inférieur à 0,1 g.

e) Échelles de mesure du niveau sismique

Il convient de distinguer la magnitude, qui mesure l'énergie libérée au foyer d'un séisme, de l'intensité, qui mesure les dommages causés en surface. Les deux sont certes liées, mais le rapport de l'une à l'autre dépend du contexte géologique local et de la profondeur du foyer.

L'échelle de Richter est basée sur la magnitude. L'échelle MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) mesure l'intensité d'un tremblement de terre. Elle décrit les effets d'un séisme en termes de destructions des installations humaines et de modifications de l'aspect du terrain, mais également d'effets psychologiques sur la population (sentiment de peur, de panique, panique généralisée...). Il s'agit de l'estimation des effets réels d'un séisme à la surface, sans qu'il soit nécessaire de connaître sa magnitude, sa profondeur ou la nature des sols. L'intensité MSK d'un séisme est directement corrélée au PGA calculé.

À titre d'exemple, le séisme de Roermond du 13 avril 1992 a été classé à une magnitude 5,8 sur l'échelle de Richter, et son intensité à l'épicentre a atteint VII sur l'échelle MSK.

Tableau 2

Description de l'échelle MSK.

Degrés	Dégâts observés
I	Seuls les sismographes très sensibles enregistrent les vibrations.
II	Secousses à peine perceptibles; quelques personnes au repos ressentent le séisme.
III	Vibrations comparables à celles provoquées par le passage d'un petit camion.
IV	Vibrations comparables à celles provoquées par le passage d'un gros camion.
V	Séisme ressenti en plein air. Les dormeurs se réveillent.
VI	Les meubles sont déplacés.
VII	Quelques lézardes apparaissent dans les édifices.
VIII	Les cheminées des maisons tombent.
IX	Les maisons s'écroulent. Les canalisations souterraines sont cassées.
X	Destruction des ponts et des digues. Les rails de chemin de fer sont tordus.
XI	Les constructions les plus solides sont détruites. Grands éboulements.
XII	Les villes sont rasées. Bouversements importants de la topographie. Fissures visibles à la surface

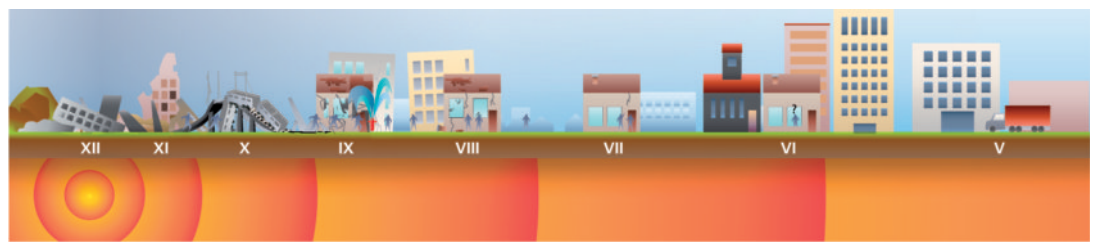


Illustration de l'échelle MSK.

2.1.1.2.2 Résultats

a) Approche sismotectonique

Quatre structures sismotectoniques entourent le site dans un rayon de 320 km :

- le massif de Londres-Brabant au Nord,
- le massif de Liège-Stavelot à l'Est,
- le graben du Rhin au Nord-Est,
- le bassin de la Haine à l'Ouest.

Le massif des Ardennes, au Sud, n'a donné lieu à aucun mouvement significatif du sol, et n'est pas déterminant pour la définition du SSE. De même, le bassin de la Haine n'a subi que des séismes de faible profondeur, dont le rayon macrosismique était faible: il n'est donc pas non plus déterminant pour la définition du SSE.

Le séisme historique le plus intense a été celui de Colchester en Angleterre, à la limite du cercle de rayon 320 km centré sur le site, dans le massif Londres-Brabant. Ce séisme est réputé d'intensité VIII à l'épicentre. Ce séisme est supposé se produire avec la même intensité à la limite de sa zone sismotectonique (Tirlemont). Compte tenu d'une atténuation de 1 degré MSK (atténuation obtenue entre Tirlemont et Tihange), la valeur du séisme de conception est de VII.

b) Approche historique

Le séisme ayant affecté le plus fortement le site de Tihange est le tremblement de terre dit « de Tirlemont », survenu le 23 février 1828, dont l'épicentre a été situé à environ 35 km du site de Tihange (l'épicentre se trouve aux confins des communes de Grand-Hallet, Jandrin-Jandrenouille et Orple-Grand). C'est le séisme le plus fort enregistré historiquement sur le site (il s'agit là de l'état des connaissances au moment de la conception du site). Il a été ressenti à Huy, la commune à laquelle appartient Tihange, avec une intensité de VI sur échelle MSK, et a été classé 6 sur l'échelle de magnitude de Richter. En ajoutant un degré MSK, on en déduit l'intensité à prendre en compte pour la conception des installations, soit VII sur l'échelle MSK.

c) Corrélation PGA – intensité sismique

Les deux approches déterministes utilisées lors de l'évaluation de la sismicité du site de Tihange ont conduit au même résultat, à savoir un séisme d'une intensité VII sur l'échelle MSK. L'accélération maximale au sol (PGA) sur le site de Tihange, déduite des courbes de corrélation de Medvedev, est alors de 0,1 g.

Lors de la conception de la centrale nucléaire, l'analyse de la sismicité, décrite ci-dessus, a montré que le site de Tihange ne se trouve dans aucun des accidents ou blocs tectoniques où sont situés les épicentres des séismes historiques. Ce site appartient donc à une province asismique durant les temps historiques.

Lors de la première révision périodique de sûreté de Tihange 1, de nouvelles directives d'experts de la CCE ont recommandé un schéma d'atténuation, exprimé en degrés MSK, différent de celui pris à la conception. La prise en compte de cette recommandation a emmené l'exploitant à considérer un séisme maximum sur le site de Tihange de VII¹/₂ sur l'échelles MSK. L'utilisation des courbes de corrélation intensité-accélération prescrite dans le document NRC – NUREG-0143 a conduit à un relèvement du niveau d'accélération maximal au sol (PGA) du SSE de 0.1g à 0.17g.

Tableau 3 ↘

Province sismotectonique	Intensité historique maximale	Séisme considéré	Atténuation, en degré MSK, entre la province sismotectonique et le site (distance en km)	Intensité maximale probable sur le site	Intensité de conception
1. Londres-Brabant	VIII	Colchester	0,5 - 1	VII - VII ¹ / ₂	VII - VII ¹ / ₂
2. Graben de Rhin	VIII	Eurskirchen	1	VII	VII
3. Liège-Stavelot	VI	Threux	1	V	V
4. Haine	VII	Chapelle-Lez-Herlaimont	4	III	III
Approche historique	VII	Tirlemont	0,5 - 1'(24)	VI - VI ¹ / ₂	VII - VII ¹ / ₂

Résumé de la détermination de l'intensité SSE.

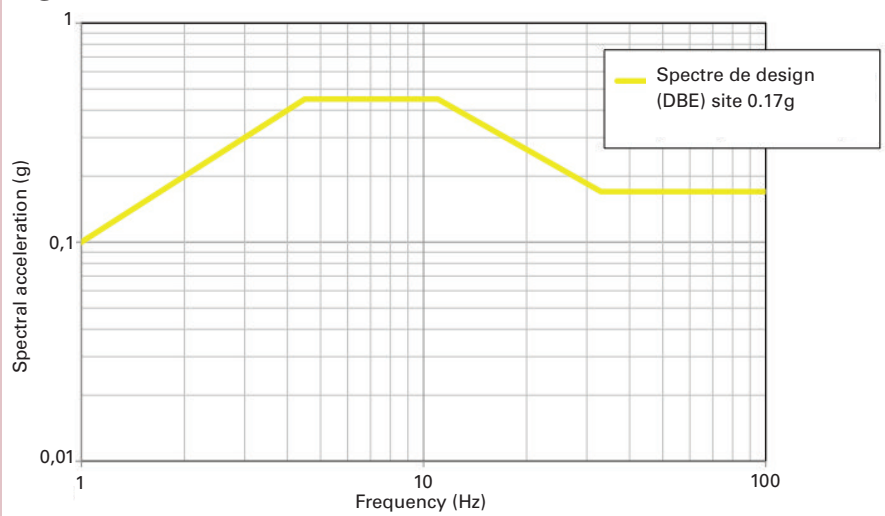
d) Détermination du spectre de réponse

Le spectre de réponse horizontale de dimensionnement, au niveau du sol, est un spectre propre au site déterminé pour le séisme SSE. Il représente le mouvement sismique au niveau du sol en tenant compte de la géologie du site. La représentation graphique d'un spectre de réponse est construite point par point en faisant varier la fréquence d'un oscillateur à un degré de liberté et en reportant cette fréquence en abscisse et le maximum temporel de la réponse à une sollicitation sismique en ordonnée. On obtient ainsi un spectre de réponse pour un amortissement fixé. Le spectre de réponse du site de Tihange est représenté ci-dessous. Il a été déterminé par compilation d'enregistrements sismiques provenant de sites comparables.

↙ Spectre de réponse spécifique au site de Tihange

Ce spectre propre au site, fournit pour chaque valeur de la fréquence, l'accélération attribuable au séisme. La figure montre le spectre, qui correspond à un amortissement de 5%. La valeur maximale de l'accélération horizontale associée au séisme DBE est de 0,17 g au niveau du sol. C'est ce spectre qui est pris en compte pour le dimensionnement et le calcul des structures de classe 1 sismique (voir p. 59).

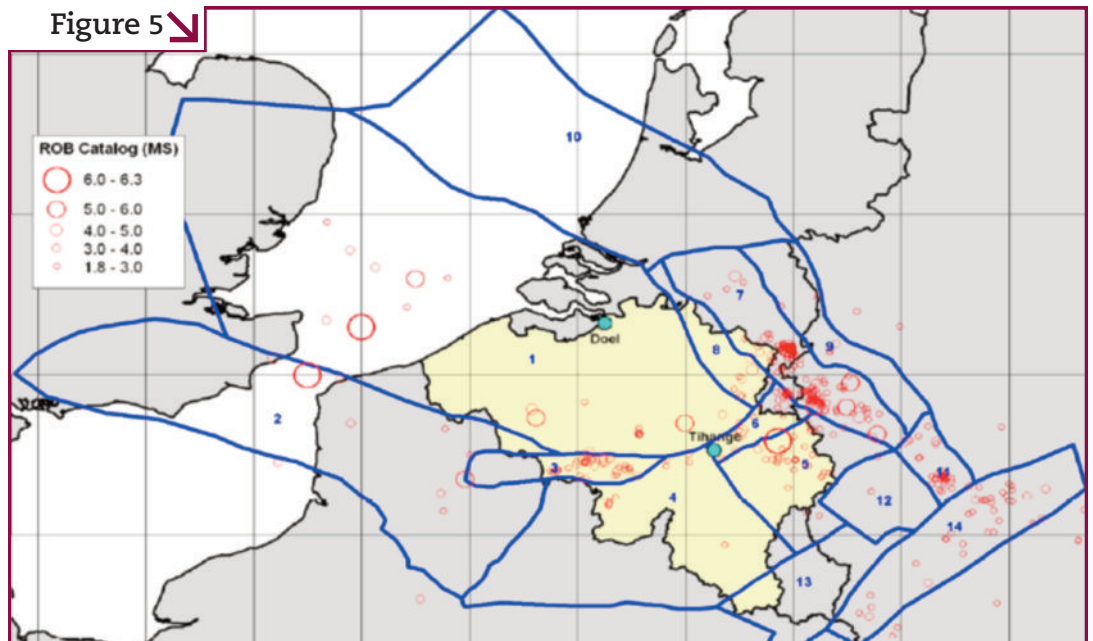
Figure 4



2.1.1.3. Adéquation du séisme pour lequel les installations sont dimensionnées

Dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté menées suite à l'accident de Fukushima, et afin de s'assurer de la validité et l'actualité des données sismiques, l'exploitant a demandé à l'Observatoire Royal de Belgique (ORB), une institution reconnue internationalement dans ce domaine, de réaliser une étude d'aléa sismique sur base probabiliste (PSHA) prenant en compte les connaissances et données les plus récentes.

Figure 5 ↘



Carte des zones sismiques en Belgique.

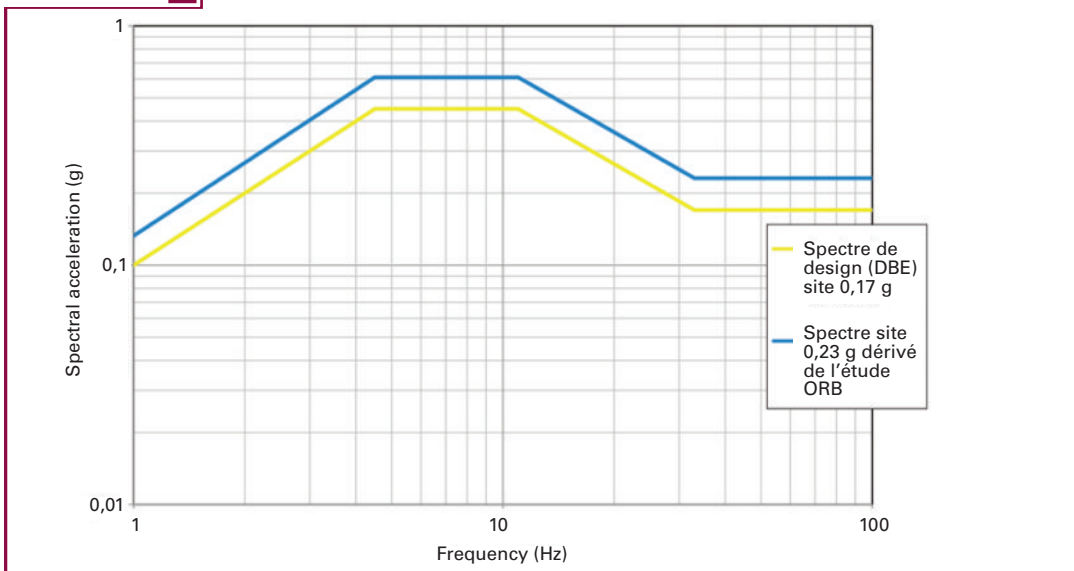
L'étude prend en compte deux faits marquants apparus ces dernières années en matière de définition du risque sismique :

- d'une part, en ce qui concerne les données sismologiques en Belgique, une réévaluation du séisme de Verviers, probablement le séisme le plus important de l'histoire de la Belgique, qui se serait produit le 18 septembre 1692 et aurait provoqué d'importants dégâts dans tout le pays ;
- d'autre part, du point de vue méthodologique, des développements récents en matière de détermination de l'aléa sismique par les méthodes probabilistes (PSHA), réputées plus pénalisantes.

Cette étude de l'ORB établit le niveau sismique, exprimé en termes d'accélération maximale et de spectre de réponse au niveau de la roche mère (*bedrock*, proche de la surface à Tihange). Ces accélérations maximales du site de Tihange sont de 0,064 g pour une période de retour de 1 000 ans et de 0,21 g pour une période de 10 000 ans (période de retour moyenne). Pour une période de 100 000 ans, la valeur médiane d'accélération maximale du site est inférieure à 0,21 g. Pour réaliser l'étude, la valeur la plus pénalisante a été considérée, soit une accélération de 0,21 g au *bedrock*.

Les niveaux sismiques actuels de conception des trois unités de Tihange sont comparés à ceux déduits de cette nouvelle étude d'aléa sismique en Belgique. La comparaison étant faite au niveau du sol, les données de l'ORB ont été traduites en termes de PGA et de spectre de réponse en surface sur le site de Tihange, en tenant compte des caractéristiques spécifiques du sol. Sur la base de l'étude de sol réalisée lors de la dernière réévaluation sismique du site, le PGA calculé par l'ORB sur le *bedrock* a été porté à 0,23 g en surface (marge de 10 %) pour tenir compte de l'amplification du sol. Le nouveau spectre du site donne une accélération maximale en surface de 0,23 g et la forme spectrale du séisme propre au site actuel est conservée en appliquant un facteur d'amplification de 2,64 (réputé conservatif, exprimé à 84 % de confiance). On notera que des facteurs d'amplification plus réduits exprimés à 50 % de confiance ont été retenus pour la définition des spectres de réévaluation de marges aux États-Unis (Utilisation des spectres NUREG 0098 à 50 % de confiance).

Figure 6 ↘



Comparaison du spectre de conception des trois unités de Tihange avec le nouveau spectre site déduit de la nouvelle étude ORB.

Il faut cependant souligner que la différence entre le nouveau spectre site dérivé de l'étude ORB et le spectre DBE est très limitée en regard des marges prises lors des calculs initiaux. En effet, les hypothèses considérées lors de la conception sont celles requises par les codes de construction en vigueur, hypothèses reconnues comme étant conservatives, en particulier dans le domaine nucléaire où les exigences dépassent de loin celles des Eurocodes. Par exemple, en matière d'installation nucléaire, les codes de calcul ne peuvent pas prendre en compte la ductilité des matériaux (facteur d'absorption des vibrations par déformation post-élastique) et doivent considérer des séismes d'une période de retour de l'ordre de 10 000 ans (au lieu de 475 ans pour l'Eurocode).



Inspection SQUG

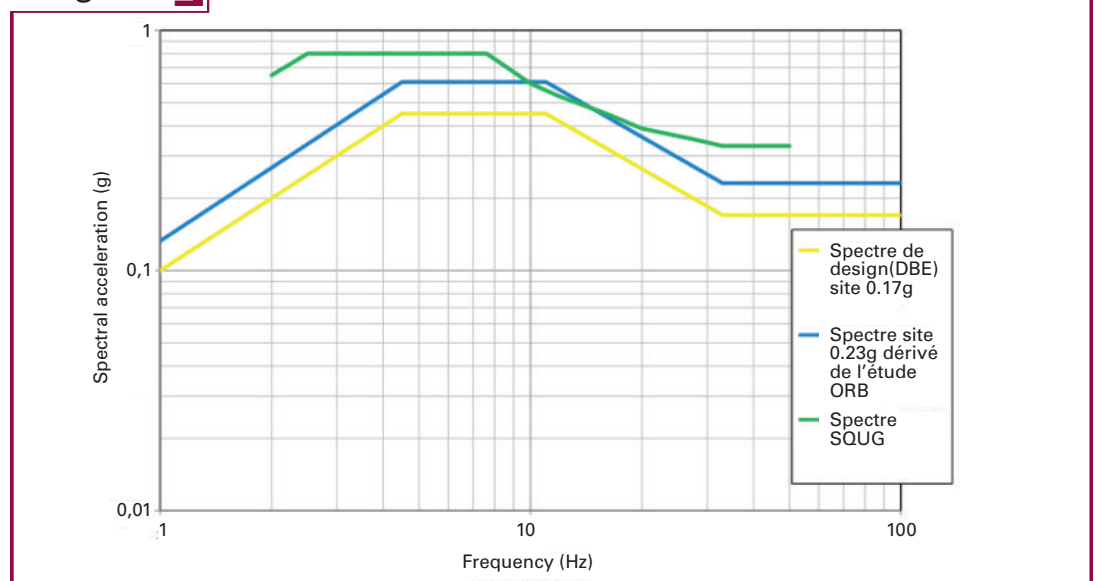
Le *Seismic Qualification Utility Group*, ou SQUG, est un groupe d'opérateurs et constructeurs nucléaires américains et européens, dirigé par l'EPRI, qui a mis au point – avec des groupes de consultants comme EQE, MPR, etc. – une méthode de vérification de la tenue sismique (structurelle et fonctionnelle) des équipements électromécaniques (pompes, ventilateurs, vannes commandées, générateurs, batteries, armoires électriques, etc.). Cette approche, dite SQUG, est essentiellement basée sur le retour d'expérience de séismes réels, et la tenue effective dans ces circonstances d'équipements électromécaniques similaires à ceux de l'unité visitée. Dans cette méthode, un équipement installé est évalué sur la base :

- D'une comparaison du niveau sismique de référence de la base de données SQUG avec le DBE de l'unité. Cette base de données est régulièrement mise à jour avec les données sismiques actualisées. En tant que membre du groupe SQUG, Electrabel est informé en continu des dernières mises à jour, et donc de leur impact éventuel.
- D'une analyse de similarité avec des équipements de référence n'ayant subi ni perte d'intégrité ni perte de fonction lors de séismes réels de forte amplitude.
- D'un calcul de vérification de son ancrage
- D'un examen de son environnement afin de s'assurer qu'il ne risque pas d'être endommagé par la défaillance, la chute ou le déplacement d'un équipement voisin.

La pratique internationale pour tenir compte de l'évolution de la connaissance des données sismiques n'est évidemment pas de revoir *a posteriori* les bases de conception des installations, mais de mener une évaluation de sûreté pour vérifier l'existence de marges suffisantes, ou, le cas échéant, d'identifier les modifications à apporter. Une étude de ce type a été menée à Tihange et fait l'objet du paragraphe 2.2.

On notera que tous les équipements nécessaires à la mise à l'arrêt stable et contrôlé des unités en cas de séisme ont été vérifiés par la méthodologie SQUG. Cette vérification est réalisée sur base du spectre de référence SQUG, largement supérieur au nouveau spectre déduit de l'étude de l'ORB, pour la majorité des fréquences. Comme le montre la figure suivante, cette vérification présente donc des marges (voir figure 7 ci-dessous).

Figure 7



Spectre de référence de la vérification sismique selon la méthodologie SQUG.

Le spectre déduit de l'étude préliminaire de l'ORB dépasse légèrement le DBE des unités de Tihange, mais ne porte pas à conséquence pour les raisons suivantes :

- en étant qualifiés au DBE sur la base des méthodes réputées conservatrices et compte tenu des pratiques de design inhérentes à la conception des structures nucléaires, la très grande majorité des structures systèmes et composants conservent leur qualification au séisme déduit de l'étude ORB ;
- l'étude de marge basée sur la méthodologie SMA, entreprise dans le cadre de cet exercice et décrite au paragraphe 2.2 a, dans une large mesure, confirmé ce résultat.

Une étude détaillée de l'aléa sismique du site de Tihange sera menée et permettra de conclure quant à l'adéquation du DBE.

2.1.2. Dispositions de protection des installations face au séisme de référence

2.1.2.1. Structures, systèmes et composants nécessaires à l'arrêt stable et contrôlé, et restant disponibles après le séisme

a) Unité de Tihange 1 Principes généraux

Les règles sismiques adoptées visent à garantir le maintien des fonctions de sûreté des équipements sous l'effet du séisme SSE (caractérisé par une accélération horizontale au niveau du sol de

0,17 g). Les SSC (structures, systèmes et composants) requis sont ceux qui permettent de maintenir en toutes circonstances le réacteur dans un état d'arrêt stable et contrôlé.

Les SSC listés dans ce chapitre comme étant classés sismiques sont les bâtiments, les équipements mécaniques et électriques dont la disponibilité est requise après un séisme SSE. Il est important de préciser que la liste ci-dessous reprend l'ensemble des matériels classés sismiques des fonctions de sûreté ainsi que des fonctions redondantes. La défaillance d'un des équipements listés ci-dessous ne porte pas forcément à conséquence puisque sa fonction peut-être reprise par un autre qui lui est redondant.

Bâtiments et structures

Les structures de génie civil sont construites de manière à assurer l'étanchéité ou le confinement et la protection contre les rayonnements directs et contre les projectiles lors d'un accident d'origine interne à la centrale. Elles sont également conçues pour ne pas mettre en danger les systèmes et équipements de sûreté qu'elles abritent, lors d'un accident d'origine externe.

Parmi ces structures, le bâtiment du réacteur (BR) et l'espace annulaire revêtent une importance particulière. La double enceinte (*voir chapitre 1*) confère aux systèmes principaux compris dans le bâtiment réacteur une protection élevée contre les accidents externes.

Les structures de génie civil protègent les systèmes suivants contre les accidents d'origine externe :

- le circuit primaire ;
- le combustible usé entreposé sur le site ;
- les réservoirs contenant les effluents gazeux ;
- les systèmes assurant la mise à l'arrêt du réacteur en cas d'indisponibilité des systèmes normaux de mise à l'arrêt.
- Les systèmes de sauvegarde :

Ces structures sont des bâtiments de **classe 1 sismique** suivant le RG-1.29 (révision 2, février 1976). Elles sont donc conçues pour résister au séisme de référence du site.

Systèmes

Les systèmes suivants comprennent les équipements actifs permettant l'arrêt et le maintien dans un état stable et contrôlé de l'unité suite à un séisme. Leur fonction de sûreté et leurs bases de conception sont décrites dans le Rapport de Sûreté de l'unité.

Les systèmes principaux de l'unité sont les premiers requis après un séisme afin de ramener l'unité à un état d'arrêt stable et contrôlé :

- CRP-RPP ;
- CCV ;
- CAR secouru par le CAU ;
- CRI ;
- CVP ;
- EAN (isolement)-EAS ;
- CEB ;
- CVD atm ;
- RRA ;
- l'habitabilité de la salle de conduite CSC.

Afin de garantir l'intégrité du combustible entreposé dans les piscines, la fonction de refroidissement de ces piscines (CTP) est également assurée en cas de séisme.

Pour garantir l'arrêt de l'unité et son maintien dans un état stable et contrôlé, les systèmes qui assurent les fonctions vitales doivent être qualifiés pour résister à un séisme du niveau du DBE :

- le refroidissement du cœur : CRP (et par l'EAS alimentant les GV) ;
- le contrôle de la réactivité : CCV (+ chaîne source) ;
- le contrôle de la pression primaire : CCV - CIS - RPP ;
- le contrôle de l'inventaire du cœur : CCV ;
- l'évacuation de la chaleur résiduelle du cœur : RRA - CRI - CEB secouru par le circuit d'eau de nappe.



Classe 1 sismique

La catégorie 1 sismique est le classement donné par la NRC dans le RG 1.29 pour désigner les SSC qui doivent rester fonctionnels en cas de séisme SSE.

Tableau 4 ↘

Liste des SSC de Tihange 1

Structure	Systèmes	Fonction assurée	Fonction vitale associée
Le bâtiment du réacteur (BR) (y compris l'enveloppe extérieure) et ses structures internes	CRP - RPP	Évacuation/transfert chaleur Contrôle de la pression Deuxième barrière de confinement	Refroidissement du cœur Maîtrise du confinement Contrôle de la pression du circuit primaire
	CCV	Maintenir la quantité d'eau nécessaire dans le circuit primaire; purification CRP; ajuster la concentration de l'eau primaire en bore	Contrôle de la réactivité Contrôle de la pression du circuit primaire
	CAR	Alimentation en air de régulation	N.A.
	CVP	Véhiculer la vapeur des GV à la turbine	Isolement des lignes vapeur
	RRA	Refroidissement à l'arrêt	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CIS	Injection de sécurité	Contrôle de la pression/inventaire primaire
	CAE	Aspersion de l'enceinte	Contrôle de la pression dans l'enceinte en régime post-accidentel
	VEA	Ventilation de l'espace annulaire	Maîtrise du confinement
	CRI	Circuit de refroidissement des équipements des circuits auxiliaires	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CEB	Alimentation en eau brute	Évacuation de la chaleur résiduelle
	EAN	Alimentation en eau des GV	Évacuation de la chaleur résiduelle Isolement ligne EAN
	CAU	Alimentation en air de régulation de secours	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CTP	Circuit de traitement des piscines	N.A.
	VEE	Ventilation de l'enceinte	N.A.
	La travée piscine du bâtiment des auxiliaires nucléaires	CTP	Circuit de traitement des piscines
CRI		Circuit de refroidissement des équipements des circuits auxiliaires	Évacuation de la chaleur résiduelle
Les travées Ouest et Est du bâtiment des auxiliaires nucléaires	CRI	Circuit de refroidissement des équipements des circuits auxiliaires	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CCV	Maintenir la quantité d'eau nécessaire dans le circuit primaire; purification CRP; ajuster la concentration de l'eau primaire en bore	Contrôle de la réactivité Contrôle de la pression du circuit primaire
	EDN-EDD	Alimentation en eau déminéralisée	N.A.
	VBP	Ventilation du BAN	N.A.
	CAR	Alimentation en air de régulation	N.A.
	CEB	Alimentation en eau brute	Évacuation de la chaleur résiduelle
La station de pompage	CEB	Alimentation en eau brute	Évacuation de la chaleur résiduelle
Le bâtiment des pompes ISBP et CAE	CIS	Injection de sécurité	Contrôle de la pression/inventaire primaire
	CAE	Aspersion de l'enceinte	Contrôle de la pression dans l'enceinte en régime post-accidentel
	CRI	Circuit de refroidissement des équipements des circuits auxiliaires	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CEB	Alimentation en eau brute	Évacuation de la chaleur résiduelle
Le local d'eau brute	CEB	Alimentation en eau brute	Évacuation de la chaleur résiduelle

Structure	Systèmes	Fonction assurée	Fonction vitale associée
Le bâtiment des groupes Diesels principaux	GDS	Secours électrique du premier niveau	Alimentation électrique de sauvegarde
	CEB	Alimentation en eau brute	Évacuation de la chaleur résiduelle
Le bâtiment des pompes d'eau alimentaire de secours	EAN- EAS	Alimentation en eau des GV	Évacuation de la chaleur résiduelle Isolement ligne EAN
	CVD	Contournement de la vapeur	Évacuation de la chaleur résiduelle
	Panneau de repli	Salle de commande de repli	N.A.
	CAR	Alimentation en air de régulation	N.A.
	CAU	Alimentation en air de régulation de secours	Évacuation de la chaleur résiduelle
Le bâtiment d'ultime repli	GUS	Secours électrique du second niveau	Contrôle de l'intégrité du CRP
	CAU	Alimentation en air de régulation de secours	Évacuation de la chaleur résiduelle
	DUR	Secours électrique second niveau	Alimentation électrique de secours
Le nouveau bâtiment d'échantillonnage	GBR	Échantillonnage gaz post-accidentel	N.A.
	CEN-LPA	Échantillonnage liquide post-accidentel	N.A.
La partie du bâtiment des auxiliaires électriques (et galeries de câbles associées) contenant les équipements de classe 1E	CSC	Ventilation de la salle de commande	Habitabilité de la salle de commande
	VLE	Ventilation des locaux électriques	N.A.
	HTS	Alimentation haute tension secours	Alimentation électrique de sauvegarde [situé extérieur bâtiment]
	MTS	Alimentation basse tension secours	Alimentation électrique de sauvegarde
La cheminée	VBP	Extraction de l'air des locaux et comptage de la radioactivité rejetée	N.A

De plus, la résistance au DBE est également requise pour les systèmes de sauvegarde remplissant les fonctions suivantes :

- l'injection de sécurité : CIS ;
- l'aspersion de l'enceinte : CAE ;
- la mise en dépression et la filtration de l'espace annulaire : VEA ;
- l'isolement de l'enceinte ;
- l'habitabilité de la salle de conduite : CSC.

En condition accidentelle, il est nécessaire de mesurer et de contrôler la radioactivité. Les systèmes suivants assurent ce contrôle : CEN-LPA, GBR et les chaînes VBP. Ceci permet d'avoir des informations fiables sur les rejets potentiels de radioactivité vers l'environnement et donc de définir le plan d'action adéquat vis-à-vis de la population.

L'ensemble de ces systèmes ou la partie de ces systèmes devant fonctionner en cas d'accident est conçu en classe 1 sismique et localisé à l'intérieur de structures elles-mêmes de classe 1 sismique. La ventilation/refroidissement de certains équipements de sauvegarde est indispensable à leur bon fonctionnement. De plus, il est nécessaire de maintenir des conditions d'ambiance dans des limites définies pour la zone habitable. Pour ces raisons, les systèmes suivants sont également qualifiés (ou partiellement qualifiés : seule une partie du système est qualifiée) pour tenir au séisme SSE : VEA, VLE, CSC, VBP et ventilation du BUR.

Les études de réévaluation de sûreté entreprises à l'occasion de la première Révision Périodique de Sûreté ont conduit à la définition d'un système permettant de faire face à des événements non pris en considération dans la conception initiale du bâtiment électrique de la centrale. Il s'agit du Système d'Ultime Repli (SUR), qui représente un niveau de protection supplémentaire pour Tihange 1.

Contrôle-commande

La salle de commande, ainsi que ses panneaux, pupitres, armoires d'instruments et armoires de relais, assurent le contrôle et la commande à distance de l'ensemble des systèmes requis listés ci-dessus. Ils sont donc eux aussi qualifiés pour résister à un séisme du niveau du DBE.

Ces systèmes de contrôle et de commande assurent la protection automatique du réacteur CPR dans les conditions normales de fonctionnement, et la mise en service des systèmes de sauvegarde et de leurs systèmes auxiliaires.

Cet objectif est atteint grâce à des systèmes de protection conçus pour déclencher automatiquement les actions appropriées (arrêt d'urgence et démarrage des systèmes de sauvegarde) lorsque certains paramètres (surveillés) de l'unité approchent ou atteignent des limites de sécurité préétablies.

Systèmes électriques

L'unité Tihange 1 est reliée au réseau électrique général par deux lignes à 380 kV requises pour assurer, d'une part, l'évacuation de l'énergie électrique vers le réseau et, d'autre part, l'alimentation des services auxiliaires de l'unité. En cas de défaillance de l'alimentation des auxiliaires par les deux transformateurs attelés, l'alimentation de réserve est fournie par deux autres transformateurs de secours raccordés au réseau 150 kV, suffisants pour alimenter tous les auxiliaires de l'unité. Le basculement vers ces postes de secours se fait automatiquement.

La haute tension (HTS) est distribuée *via* des transformateurs aux tableaux 6 kV, 380 V (MTS), automatiquement secourus et aux tableaux 380V du deuxième niveau.

En cas de perte totale des sources extérieures, ces dernières n'étant pas conçues pour résister au séisme SSE, il est fait appel à des sources de production autonomes constituées par des groupes électrogènes à moteur Diesel GDS. De plus, un groupe turboalternateur actionné par la vapeur secondaire (dit GUS, pour groupe d'ultime secours) et un groupe diesel alternateur (dit DUR, pour diesel d'ultime repli) constituent une source d'ultime secours.

Les groupes électrogènes GDS, GUS et DUR sont qualifiés de classe 1 sismique et localisés à l'intérieur de structures de classe 1 sismique également.

b) Unités de Tihange 2 et 3

Principes généraux

En ce qui concerne la protection contre les accidents, deux groupes de dispositifs ont été prévus :

- un premier niveau protège l'environnement contre tout incident et accident dont l'origine se situerait à l'intérieur des installations ;
- un deuxième niveau est destiné à protéger l'environnement contre un accident d'origine extérieure aux installations, c'est-à-dire la chute d'avion, l'incendie de grande ampleur, l'explosion.

Le deuxième niveau permet également de faire face à la perte d'un système du premier niveau.

Les règles sismiques adoptées visent à garantir le maintien des fonctions de sûreté de l'ensemble des équipements des deux niveaux sous l'effet du séisme SSE (caractérisé par une accélération horizontale au niveau du sol de 0,17 g). Les SSC (structures, systèmes et composants) requis sont ceux qui permettent de maintenir en toutes circonstances le réacteur dans un état d'arrêt stable et contrôlé. La liste des circuits de sûreté est décrite ci-dessous, elle reprend l'ensemble des structures, systèmes et composants des deux groupes de protection de classe 1 sismique, c'est-à-dire conçus pour assurer leur fonction de sûreté après un séisme SSE. La défaillance d'un de ces équipements ne porte pas forcément à conséquence puisque sa fonction peut-être reprise par un autre qui lui est redondant.

Bâtiments/structures

Les structures de génie civil sont construites de manière à assurer l'étanchéité ou le confinement et la protection contre les rayonnements directs et contre les projectiles lors d'un accident d'origine interne à la centrale, ce qui correspond aux missions du premier niveau de sûreté.

Parmi ces structures, le bâtiment du réacteur (BR) et l'espace annulaire revêtent une importance particulière. La double enceinte (*voir chapitre 1*) confère aux systèmes principaux (y compris les systèmes et équipements de sûreté) contenus dans le bâtiment réacteur une protection élevée contre les accidents externes.

Les structures de génie civil doivent protéger les systèmes suivants contre les accidents d'origine externe :

- circuit primaire ;
- le combustible usé entreposé sur le site ;
- les réservoirs contenant les effluents radioactifs gazeux ;
- les systèmes assurant la mise à l'arrêt du réacteur et son maintien en état stable en cas d'indisponibilité des systèmes normaux de mise à l'arrêt.

Ces structures sont des bâtiments de classe 1 sismique suivant le RG-1.29 (révision 2, février 1976).

Systemes

Les systèmes suivants comprennent les équipements actifs et passifs permettant l'arrêt et le maintien de l'unité dans un état stable et contrôlé suite à un séisme. Leur fonction de sûreté et leurs bases de conception sont décrites dans le Rapport de Sûreté de l'unité.

Les systèmes principaux de l'unité sont les premiers requis après un séisme afin de ramener l'unité à un état d'arrêt stable et contrôlé :

- CRP-RPP ;
- CCV-CAB ;
- CRI ;
- CAR2 et CAR3 ;
- CVP (isolement) et CVC ATM ;
- RRA ;
- EAN (isolement) - EAA ;
- CEB ;
- l'habitabilité de la salle de conduite: CSC.

Pour garantir l'arrêt de l'unité et son maintien dans un état stable et contrôlé, les systèmes qui assurent les fonctions vitales doivent être qualifiés pour résister à un séisme :

- le refroidissement du cœur: CRP et par l'EAA alimentant les GV et l'AUG pour le second niveau ;
- le contrôle de la réactivité: CCV et le CIU pour le second niveau (IJU à Tihange 3) ;
- le contrôle de la pression primaire: CCV - CIS - RPP ;
- le contrôle de l'inventaire du cœur: CCV - CIS et le CIU pour le second niveau (IJU à Tihange 3) ;
- l'évacuation de la chaleur résiduelle du cœur: RRA - CRI - CEB secouru par les systèmes de second niveau: RRA-CRU-CEU.

De plus, la résistance au séisme est également requise pour les systèmes de sauvegarde appartenant au premier et au second niveau de protection et remplissant les fonctions suivantes :

- l'injection de sécurité: CIS (et l'appoint au circuit primaire CIU) ;
- l'aspersion de l'enceinte: CAE ;
- la mise en dépression et la filtration de l'espace annulaire: VEA ;
- l'isolement de l'enceinte ;
- l'habitabilité de la salle de conduite: CSC ;
- l'habitabilité de la salle de commande BUS située dans le bâtiment renforcé, en cas d'indisponibilité de la salle de commande normale.

En condition accidentelle, il est nécessaire de mesurer et de contrôler la radioactivité. Les systèmes suivants assurent ce contrôle: EPA, GBR, GCH. Ceci permet d'avoir des informations fiables sur les potentiels rejets de radioactivité dans l'environnement et donc de définir le plan d'action adéquat vis-à-vis de la population.

Afin de garantir l'intégrité du combustible entreposé dans les piscines, les fonctions de refroidissement des piscines du BAN (CTP) et du bâtiment DE (STP) sont également assurées en cas de séisme.

Tableau 5 ↘

Liste des SSC de Tihange 2 et 3

Structure	Systèmes	Fonction assurée	Fonction vitale associée
Le bâtiment du réacteur (BR) (y compris l'enveloppe extérieure) et ses structures internes	CRP - RPP	Évacuation/transfert de chaleur Contrôle de la pression Deuxième barrière de confinement, etc.	Refroidissement du cœur Maîtrise du confinement Contrôle de la pression primaire
	CCV	Maintenir la quantité d'eau nécessaire dans le circuit primaire; ajuster la concentration de l'eau primaire en bore; injection aux joints des pompes primaires	Contrôle de la réactivité Contrôle de la pression/inventaire primaire
	CAR 2 et CAR 3	Alimentation en air de régulation et alimentation de secours	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CVP	Véhiculer la vapeur des GV à la turbine	Isolement lignes vapeur
	RRA	Refroidissement à l'arrêt	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CIS	Injection de sécurité	Contrôle de la pression/inventaire primaire
	CAE	Aspersion de l'enceinte	Contrôle de la pression dans l'enceinte en post-accidentel
	VEA	Ventilation de l'espace annulaire	Maîtrise du confinement
	CRI	Circuit de refroidissement des équipements des circuits auxiliaires	Évacuation de la chaleur résiduelle
	EAN	Alimentation en eau des GV	Isolement ligne EAN Évacuation de la chaleur résiduelle
	EDN-EDD	Alimentation en eau déminéralisée	N.A.
	CEB	Alimentation en eau brute	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CTP	Circuit de traitement des piscines	N.A.
	VBR	Ventilation de l'enceinte	Maîtrise du confinement
Le bâtiment de la piscine de désactivation	CTP	Circuit de traitement des piscines	Évacuer de la chaleur résiduelle combustible entreposé
	CRI	Circuit de refroidissement des équipements des circuits auxiliaires	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CEB	Alimentation en eau brute	Évacuation de la chaleur résiduelle

Structure	Systèmes	Fonction assurée	Fonction vitale associée
Le bâtiment des auxiliaires nucléaires	CRI	Circuit de refroidissement des équipements des circuits auxiliaires	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CCV	Maintenir la quantité d'eau nécessaire dans le circuit primaire ; purification CRP ; ajuster la concentration de l'eau primaire en bore	Contrôle de la réactivité Contrôle de la pression du circuit primaire
	EDN-EDD	Alimentation en eau déminéralisée	N.A.
	VBP	Ventilation du BAN	N.A.
	GBR	Échantillonnage gaz post-accidentel	N.A.
	EPA	Échantillonnage liquide post-accidentel	N.A.
	CIS	Injection de sécurité	Contrôle de la pression/inventaire primaire
	CAR 2 et CAR 3	Alimentation en air de régulation et alimentation de secours	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CEB	Alimentation en eau brute	Évacuation de la chaleur résiduelle
La station de pompage	CEB	Alimentation en eau brute	Évacuation de la chaleur résiduelle
Le bâtiment des groupes principaux	GDS	Secours électrique du premier niveau	Alimentation électrique de sauvegarde
Le bâtiment des pompes d'eau alimentaire auxiliaire	EAA	Alimentation en eau des GV	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CAR 2	Alimentation en air de régulation d'ultime secours	Évacuation de la chaleur résiduelle
Le bâtiment d'ultime secours et galerie associée	GDU	Secours électrique second niveau	Alimentation électrique de secours
	CEU	Alimentation en eau de nappe	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CAR 2	Alimentation en air de régulation d'ultime secours	Évacuation de la chaleur résiduelle
	AUG	Circuit d'alimentation de secours des GV	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CVC atm	Contournement vapeur	Évacuation de la chaleur résiduelle
	CIU (et IJU à T3)	Circuit d'appoint au circuit primaire	Intégrité circuit CRP / Inventaire circuit primaire
	CRU	Circuit d'ultime secours de refroidissement des équipements	Évacuation de la chaleur résiduelle
	Panneau de commande	Salle de commande du BUS	Évacuation de la chaleur résiduelle
	VBU	Ventilation du bâtiment BUS	Habitabilité du BUS
Le bâtiment des auxiliaires électriques	CSC	Ventilation de la salle de commande	Habitabilité salle de commande principale
	HTS	Alimentation haute tension secours	Alimentation électrique de sauvegarde [situé extérieur bâtiment]
	VLE	Ventilation des locaux électriques	N.A.
	MTS	Alimentation basse tension secours	Alimentation électrique de sauvegarde
	MTU	Alimentation moyenne tension secouru	Alimentation électrique de secours
La cheminée	GCH	Comptage de la radioactivité rejetée	Habitabilité de la salle de commande

L'ensemble de ces systèmes, ou la partie de ces systèmes devant fonctionner en cas d'accident, est conçu en classe 1 sismique et localisé à l'intérieur de structures elles-mêmes de classe 1 sismique. La ventilation/refroidissement de certains équipements de sauvegarde est indispensable à leur bon fonctionnement. De plus, il est nécessaire de maintenir les conditions d'ambiance dans des limites définies pour la zone habitable. Pour ces raisons, les systèmes suivants sont également qualifiés pour résister au séisme SSE : VEA, VLE, CSC et VBU.

Contrôle-commande

La salle de commande normale et la salle de commande BUS, ainsi que leurs panneaux, pupitres, armoires d'instruments et armoires de relais, assurent la commande et le contrôle à distance de l'ensemble des systèmes requis listés ci-dessus. Ils sont donc eux aussi conçus pour assurer leur fonction après un séisme du niveau du SSE. Les systèmes de contrôle et de commande qui équipent l'unité assurent la protection automatique du réacteur CPR dans les conditions normales de fonctionnement, et la mise en service des systèmes de sauvegarde et de leurs systèmes auxiliaires.

Cet objectif est atteint grâce à des systèmes de protection conçus pour déclencher automatiquement les actions appropriées (arrêt d'urgence et démarrage des systèmes de sauvegarde) lorsque certains paramètres (surveillés) de l'unité approchent ou atteignent des limites de sécurité préétablies.

Un manque de tension électrique mène ainsi le système de protection du réacteur (CPR) dans un état logique d'arrêt stable et contrôlé. En cas de défaillance du système initial, le deuxième niveau assure la protection du réacteur.

Systèmes électriques

Les systèmes électriques comprennent les équipements et les liaisons électriques 380 kV requises pour assurer, d'une part, l'évacuation de l'énergie électrique vers le réseau général et, d'autre part, l'alimentation des services auxiliaires de l'unité. En cas de défaillance de l'alimentation des auxiliaires par les transformateurs attelés, l'alimentation de réserve est fournie par deux autres transformateurs de secours raccordés au réseau 150 kV, suffisants pour alimenter tous les auxiliaires de l'unité. Les réseaux 380 kV et 150 kV constituent la « source extérieure » d'alimentation des auxiliaires de l'unité.

La haute tension (HTS) est distribuée *via* des transformateurs aux tableaux 6,6 kV, 380 V, automatiquement secourus et aux tableaux 380 V du deuxième niveau (MTU) alimentant les systèmes du BUS.

En cas de perte de l'alimentation extérieure, ces dernières n'étant pas conçues pour résister au séisme (SSE), chaque unité dispose d'autre part de trois sources de production autonomes, constituées chacune d'un groupe électrogène à moteur Diesel (GDS). Chaque train des circuits de sauvegarde est ainsi pourvu d'une alimentation électrique autonome et indépendante. En cas de défaillance de ce premier niveau de protection, un deuxième niveau d'alimentation électrique totalement indépendant (trois groupes Diesel GDU pour chaque unité) alimente les équipements de sauvegarde du second niveau.

Un Groupe Diesel de Réserve (GDR), présent à Tihange 2, constitue une sauvegarde supplémentaire disponible pour les trois unités. En effet, il peut être ligné en lieu et place d'un des Diesels (GDS) de chacune des unités.

Les groupes électrogènes GDS, GDR et GDU sont de classe 1 sismique et localisés à l'intérieur de structures de classe 1 sismique également.

Cet inventaire des équipements qualifiés pour résister au DBE atteste de l'extrême robustesse de conception des unités Tihange 2 et 3 vis-à-vis des événements sismiques.

c) Bâtiment DE

Les éléments de combustible usés provenant des trois unités du site de Tihange, et déchargés depuis au moins deux années, sont entreposés sous eau (dans des piscines) dans le bâtiment DE, dit d'« entreposage intermédiaire du combustible usé ». C'est également une structure de classe 1 sismique.

Les circuits de fluides du bâtiment DE, c'est-à-dire le refroidissement des piscines (STP, SRI et CRI), la ventilation du bâtiment (VDE) et l'isolement du circuit d'exhaure (SEX/CEX) sont conçus selon les mêmes bases et en appliquant les mêmes règles que celles utilisées pour les circuits correspondants de l'unité 3. Pour ces circuits, l'aptitude au fonctionnement des pompes actives, des vannes actives et de leurs moteurs ou actionneurs, ainsi que de leurs équipements auxiliaires vitaux respectifs, est démontrée. L'instrumentation et les équipements du bâtiment DE sont classés 1E.

2.1.2.2. Principales dispositions d'exploitation

a) Instructions de conduite

Sur le site de Tihange, le guide de l'EPRI (*Electric Power Research Institute*), document reconnu internationalement, a été utilisé pour définir, après un séisme, dans quelles conditions un passage à l'état de repli est requis, quelles sont les conditions de redémarrage et les actions long terme à entreprendre pour s'assurer que l'unité peut continuer à fonctionner avec le niveau de sûreté exigé par les bases de conception. Comme le requiert la réglementation (10 CFR 100), le site est équipé d'une instrumentation adéquate, qui permet d'évaluer rapidement le niveau du séisme vis-à-vis du séisme de conception et de décider si la centrale peut continuer à fonctionner de façon sûre.

Les procédures d'intervention post-séisme sont conformes aux Guides EPRI. Formalisées par les instructions de conduite de chaque unité (procédure incidentelle à Tihange 1), elles définissent des actions appropriées et étagées dans le temps.

Les consignes sont décrites dans des procédures dépendant de l'état de l'installation lors de la survenance de l'accident. L'unité peut en effet être en fonctionnement normal (ou en arrêt à chaud), en arrêt intermédiaire ou en arrêt à froid (RRA connecté). Les équipes opérationnelles sont formées à l'utilisation de ces consignes post-accidentelles.

À Tihange 2 et 3, en cas de perte des protections de premier niveau, le BUS est piloté par des procédures du même type que celles concernant le premier niveau pour la mise à l'arrêt stable et contrôlé de l'unité. À Tihange 1, le panneau de repli présent dans le bâtiment EAS permet également d'amener l'unité dans un état d'arrêt stable et contrôlé selon des procédures adaptées.

b) Plan Interne d'Urgence

Le Plan Interne d'Urgence met en place une organisation évolutive permettant de faire face à toute situation d'incident ou accident affectant la sûreté des installations, de l'environnement ou la sécurité du personnel. Les équipes de quart et le personnel EPI agissent en première intervention.

De plus, le rôle d'astreinte à domicile des cadres permet de disposer en permanence, au niveau du site de Tihange et de chaque unité, d'un nombre minimum d'ingénieurs compétents dans les différents domaines de l'exploitation des centrales nucléaires. Les cadres d'astreinte sont susceptibles d'être appelés à tout moment et doivent être opérationnels sur le site dans les délais les plus brefs. Cette disponibilité doit permettre de faire face :

- a) aux incidents pouvant affecter le fonctionnement des unités ;
- b) aux accidents réclamant la mise en application du Plan Interne d'Urgence.

Ce rôle d'astreinte des cadres est complété par un rôle d'astreinte de techniciens dans les domaines où cela s'avère utile ou nécessaire.

c) Guide opérationnel

L'objet de ce guide est de donner les règles élémentaires de bonne pratique afin de contrôler/éliminer les interactions sismiques temporaires lors de chaque intervention. Les interactions sismiques sont proscrites, ou doivent faire l'objet d'une étude approfondie par un expert dans le cadre d'une intervention. De façon générale, on évite systématiquement que des équipements ne rentrent en interaction sismique avec des équipements de sûreté. L'ensemble du personnel est donc formé à porter une attention particulière à ne pas remettre en cause la qualification sismique des équipements en modifiant leur environnement :

- de façon temporaire en introduisant des moyens nécessaires à l'exécution de ses tâches (échafaudages, échelles et escabeaux, etc.) ;
- de façon permanente en laissant un quelconque objet non fixé à proximité d'un équipement de sûreté.

Le surveillant de conduite, dans le cadre de ses rondes journalières, s'assure également qu'aucun matériel installé/déposé à proximité d'un équipement de sûreté ne peut l'affecter, par sa chute, son effondrement, sa mise en mouvement ou son basculement.

2.1.2.3. Effets indirects des séismes pris en compte lors de la conception

Il importe de préciser que les études menées dans le cadre des analyses SMR montrent que les systèmes énumérés dans les paragraphes précédents permettent la mise à l'arrêt de l'unité dans les scenarii suivants :

- une rupture de barrage induite par un séisme ;
- un séisme combiné à un LOOP.

Ils permettent également, pour chacun de ces scenarii, d'assurer la gestion d'une inondation interne consécutive à un séisme. Le refroidissement des piscines après un séisme est assuré par la fonction CTP et STP pour le bâtiment DE.

a) Inondation interne

Durant la deuxième Révision Périodique de Sûreté, une étude a été menée pour analyser les effets d'une inondation interne dans les bâtiments contenant des équipements de sûreté. Des visites SQUG (voir page 58) ont été organisées pour les tuyauteries non classées (*Medium Energy Line*), et ont démontré que les calculs de débit peuvent être basés sur une fissure plutôt qu'une rupture. La taille de la fissure prise en compte est délibérément conservatrice par rapport aux fuites possibles déterminées par ces visites. Le bâtiment N de Tihange 1, les bâtiments Z, P, O, B, D, N, W, les galeries K, BAE, GDS/GDR de Tihange 2 et les bâtiments BAE, W, K, B, P et les galeries de Tihange 3 ont fait l'objet de visites SQUG. Une étude des conséquences d'une inondation interne a été réalisée pour les bâtiments non sismiques.

On peut conclure que, pour les bâtiments inspectés selon la méthode SQUG, une inondation interne suite à un séisme ne représenterait aucun risque. Pour les autres bâtiments, le scenario le plus critique – c'est-à-dire une rupture d'une tuyauterie CEC en salle des machines – n'a pas été étudié de manière approfondie, mais étant donné la vitesse d'écoulement comparée à la surface et au volume du bâtiment, les alarmes permettront aux équipes opérationnelles de réagir rapidement afin d'éviter l'endommagement d'équipements importants.

b) Inondation externe

Une évaluation des inondations potentielles a été réalisée sur le site de Tihange, en prenant en considération les sources d'inondation situées hors des locaux : aéroréfrigérants, réservoirs, circuit CEC, etc. Des experts d'Electrabel et de Tractebel, ainsi que des experts internationaux indépendants, sollicités pour évaluer la résistance des circuits, ont analysé la résistance au séisme des équipements pouvant relâcher d'importantes quantités d'eau sur le site. Il en a découlé une liste d'équipements reprise en tableau 6 (voir page suivante).

Tableau 6 ↘

Équipements pouvant générer la perte d'eau sur la plateforme du site

Pour chaque équipement est indiqué soit le débit, soit le volume perdu.

En vert apparaissent les équipements qui n'engendrent aucune fuite, tandis qu'en mauve se trouvent ceux provoquant une fuite sur le site.

Unité	Équipement	Nature	Volume m ³
CNT1	Bassin tour CEC	Bris encuvement	NA
CNT2	Bassin tour CEC	Bris Encuvement	NA
CNT3	Bassin tour CEC	Bris encuvement	NA
CNT1	B02WS1	Bâche d'eau usée	350
CNT1	B02WS2	Bâche d'eau usée	350
CNT1	Bassin tour CEC	Chute packing	17,5 m ³ /s
CNT2	Bassin tour CEC	Chute packing	17,5 m ³ /s
CNT3	Bassin tour CEC	Chute packing	18,5 m ³ /s
CNT2	CEP B20	Bâche eau potable	100
CNT2	CEP B21	Bâche eau potable	100
CNT1	CVA B01Hc	Bâche de fuel	500
CNT3	CVA B08	Bâche de fuel	600
CNT3	EDN B05	Bâche eau déminéralisée	800
CNT2	EDN B06	Bâche eau déminéralisée	500
CNT2	EDN B07	Bâche eau déminéralisée	300
CNT3	EDN B07	Bâche eau déminéralisée	500
CNT2	PED B01	Bâche eau de nappe	150
CNT3	PED B03	Bâche eau de nappe	150
CNT1	Tuyauteries CEC	Circulation d'eau de la Meuse	3 m ³ /s
CNT2	Tuyauteries CEC	Circulation d'eau de la Meuse	3 m ³ /s
CNT3	Tuyauteries CEC	Circulation d'eau de la Meuse	3 m ³ /s

La rupture de chacun de ces équipements a été analysée lors de la dernière Révision Périodique de Sûreté. Pour le cas spécifique de la chute du **packing** des tours de refroidissement, un débit de débordement par le CEC avoisinant les 2 m³/s a été étudié (chute partielle de *packing*). Aucun de ces cas pris isolément ne pose de problème de sûreté.

Les conclusions de cette Révision Périodique de Sûreté ont été reprises, en y ajoutant deux hypothèses supplémentaires :

- la rupture simultanée de tous les équipements ne résistant pas au séisme de conception (DBE) ;
- la chute de la totalité des *packings* au pied des tours de refroidissement, ce qui induit un débit de débordement de 50 % du débit nominal CEC.

Le packing

Le *packing* désigne les modules de dispersion de l'eau envoyée à la tour de refroidissement. Ils sont constitués d'un lit d'environ deux mètres d'épaisseur structuré en nid d'abeilles en polyéthylène. Il sert à améliorer la dispersion de l'eau pour maximiser la surface d'échange avec l'air.

Effets de la rupture simultanée des bâches d'eau

La localisation des capacités de déversement est représentée à la figure ci-dessous.

Figure 8



Vue aérienne des capacités de déversement d'eau ou de fuel sur le site, extérieures aux bâtiments.

Un risque

Un risque est le produit des conséquences d'un événement par sa probabilité d'occurrence.

La rupture du bassin de l'aéroréfrigérant de CNT2 est sans effet car il est dans une cuvette naturelle profonde d'environ deux mètres.

Toutes les bâches présentant un **risque** de rupture, y inclus le bassin de la tour de CNT3 et de CNT1, se trouvent à l'extérieur des bâtiments, et aucune de ces bâches n'est enclavée entre plusieurs bâtiments. De plus, toutes sont situées dans la partie du site dont l'altimétrie est comprise entre 71,2 et 71,4 m. Enfin, comme on le voit sur la figure 8, elles sont très éloignées les unes des autres. Cela signifie que l'eau qui s'écoule de ces bâches en cas de rupture suit la pente du terrain et s'éloigne des bâtiments pour rejoindre les caniveaux d'égouttage.

Compte tenu du volume limité des bâches en regard des grands espaces séparant les bâtiments, l'eau va très rapidement s'étendre sur une hauteur maximale d'environ 10 cm aux points bas, avant d'être aspirée par le réseau d'égouttage dont la capacité est de 540 m³/ha/h (150 l/ha/s).

L'eau ne pourra donc atteindre localement le seuil d'entrée des bâtiments (71,5 m) que pendant une très courte durée. Seule une quantité minimale d'eau pourra y pénétrer étant donné la présence de portes industrielles obligatoirement fermées. Dès lors, aucun équipement de sûreté n'est impacté par la rupture de ces bâches.

Effets de la rupture des bâches de gazole

Les deux bâches de gazole sont incluses dans un encuvement en béton. Même fissurés par le séisme, ces encuvements ralentiront considérablement l'épanchement du gazole échappé d'une bâche.

Effets de la chute du *packing* sur les trois unités

Description du mode de débordement des bassins

En 2002, deux des multiples poutres en béton supportant le *packing* de la tour de l'unité 3 sont tombées à la suite de la rupture d'un de leur support. Ceci a entraîné la chute du *packing* qui est venu obstruer partiellement la grille de sortie du bassin de pied de tour.

Lors de cet incident, environ la moitié du débit nominal du CEC débordait du bassin au lieu de retourner en Meuse. Une grande quantité d'eau s'est déversée sur le site. De l'eau est entrée dans le bâtiment O (réservoir de gazole et pompes de transfert de gazole vers le BUS). Malgré cela, les fonctions de sauvegarde sont restées opérationnelles et le combustible nucléaire n'a couru aucun risque.

Suite à cela, la conception du *packing* a été revue sur les unités 2 et 3. Et sur base du REX de l'incident de 2002, le débit de débordement est estimé de manière conservative à 50 %.

Impact sur le site

Sur l'unité 1, la chute du *packing* est sans effet car le muret de bord de bassin est muni d'une ouverture créant un chemin de fuite préférentiel suffisant pour évacuer 50 % du débit nominal, soit 100 % du débit de débordement, dans la direction opposée à celle des bâtiments IPS.

Sur les unités 2 et 3, 50 % du débit nominal du circuit CEC débordent du bassin en moins d'une minute et commencent à inonder le site. Ce débit est de 17,5 m³/s pour l'unité 2 et de 18,5 m³/s pour l'unité 3. De façon schématique, 40 % du débit s'écoulent par l'est de l'unité 3, 40 % par la travée séparant l'unité 2 de l'unité 3, et les 20 % restants par la travée séparant les unités 1 et 2. La hauteur de la lame d'eau varie entre 15 et 25 cm. Cela signifie que les unités 2 et 3 sont entourées d'eau, sauf au Nord, face à la Meuse.

Sur les trois unités, les bassins sont munis d'alarme de niveau haut. En cas de séisme de faible amplitude, mais suffisant pour provoquer la chute du *packing*, cette alarme sera une des rares alarmes à apparaître. L'opérateur arrêtera alors rapidement les pompes CEC, ce qui arrête immédiatement l'apport d'eau, et donc le débordement. Cette opération est demandée par les **fiches d'alarme** de Tihange 2 et 3.

Si l'intensité du séisme est proche de celle du DBE, de nombreuses alarmes apparaissent. La procédure de réponse au séisme que les opérateurs utilisent ne se préoccupe pas du circuit CEC. Dès lors, il y a un risque que l'alarme sur le niveau haut du bassin des tours soit traitée en seconde priorité, c'est-à-dire après vingt à trente minutes.

Impact sur les unités

Les infiltrations dans les différents locaux sont analysées en prenant en compte toutes les ouvertures des bâtiments (telles que les soupiraux d'entrée d'air dans les portes, les jours sous les portes, les passages laissés libres dans les murs, etc.). L'analyse est menée en considérant que les pompes seront raisonnablement arrêtées 30 minutes après la chute du *packing*.

On suppose de façon conservative que le séisme n'a provoqué ni la perte du réseau, ni le dysfonctionnement des tableaux alimentant les pompes CEC, ni les pompes elles-mêmes, si bien que celles-ci restent en fonctionnement.

Ceci est un point clé de l'analyse, car si on suppose la perte du réseau, il n'y a plus aucun risque d'inondation. En effet, les pompes ne sont alors plus en service et n'alimentent pas la fuite.

Le réseau d'égouttage sera d'un faible secours au regard des débits amenés par le circuit d'eau de circulation (de l'ordre de 65 000 m³/h par unité), bien supérieurs à la capacité d'évacuation des égouts.

Unité 1

L'unité 1 sera la dernière touchée, celle-ci étant plus éloignée des réfrigérants de Tihange 2 et 3, et ne devrait être concernée que pour une très courte durée. Il est estimé que les groupes Diesel de l'unité seront noyés. Ce seront les seuls équipements affectés. Le réseau électrique extérieur n'étant pas endommagé (par hypothèse conservative, *voir plus haut*), tous les équipements resteront alimentés et disponibles, en particulier ceux nécessaires à l'arrêt stable et contrôlé du cœur et au refroidissement de la piscine. Les conséquences sont identiques en période d'arrêt.

Unité 2

Les premiers bâtiments à recevoir des quantités d'eau significatives seront la salle des machines, et le BAN-N. En effet, ils se trouvent quasiment en face de la tour et l'eau y pénètre par la porte de l'atelier mécanique (de grande largeur). L'eau entre alors dans le BAN-N. Compte tenu du compartimentage incendie, qui assure une étanchéité entre les locaux, et des faibles sections de passage sous les

portes, cette eau reste essentiellement confinée au rez-de-chaussée sans mettre à mal d'équipements fondamentaux. Les infiltrations vers le BAN-D ou les étages inférieurs n'auront pas le temps de se traduire par des volumes d'eau suffisants pour entraîner des dégâts notables. De même, les équipements du BUS seront toujours disponibles pour le refroidissement du combustible car les infiltrations seront réduites, les volumes à remplir importants et les systèmes de relevage toujours opérationnels. En revanche, deux des trois pompes CEU de nappe seront perdues car elles sont dans la ligne directe de l'écoulement d'eau de la tour de l'unité 2 vers la Meuse. Ceci n'entraînera pas une indisponibilité des équipements supportés par ces pompes car trois pompes CEU supplémentaires peuvent puiser en Meuse et servir de source de refroidissement. Le bâtiment O sera noyé mais, le réseau électrique extérieur restant disponible, ce sera sans conséquence sur les équipements de sûreté nécessaires au refroidissement du combustible (rappelons que si le réseau extérieur est perdu, la problématique « inondation par le CEC » ne peut plus apparaître car les pompes sont alors à l'arrêt par manque d'alimentation électrique).

Grâce à leur localisation en bord de Meuse, du côté Nord et donc à l'abri des écoulements d'eau, les GDS (et leur bâtiment de stockage de gazole), les pompes CEB et CEU de Meuse ainsi que les locaux de l'EAA ne subiront pas l'agression directe du niveau d'eau et resteront disponibles.

Malgré l'importance du débit et l'ampleur de la zone touchée, les systèmes et équipements encore disponibles permettront de maintenir un refroidissement efficace et illimité dans le temps grâce aux équipements de sauvegarde du premier ou du deuxième niveau.

En situation d'arrêt de tranche, les pompes CEC sont à l'arrêt durant 80 % du temps (lors de la maintenance des équipements du circuit secondaire). Les 20 % restants sont couverts par les points suivants :

- de très nombreuses personnes sont présentes sur le site, et le débordement du bassin de la tour sera très rapidement signalé et donc arrêté (une alarme du niveau du bassin est également disponible) ;
- lorsque le circuit primaire n'est plus pressurisable (cuve ouverte, ou un événement de taille suffisante), le circuit RRA est pleinement disponible, refroidissable par le CRI ou le CRU ;
- lorsque le circuit primaire est pressurisable (phases d'arrêt et de démarrage), il est tout autant refroidissable par le RRA, mais aussi par les GV (les appoints en eau et le contournement atmosphère sont disponibles).

Unité 3

L'approche du problème est menée de la même façon que pour l'unité 2. Nous ne mentionnerons ici que les différences notables.

Les premières parties de l'installation touchées seront la salle des machines, l'atelier et le bâtiment E. Cela n'aura pas de conséquence sur des équipements de sûreté. En effet, bien que le bâtiment E contienne des équipements classés (les tableaux électriques principaux), ceux-ci sont situés aux étages supérieurs et ne seront donc pas affectés par l'eau provenant du CEC.

Seule une des trois pompes CEU de puits sera perdue. Les trois pompes CEU de Meuse resteront disponibles.

Les infiltrations dans le DE proviendront de l'extérieur et de sa communication avec le bâtiment PHI. Ces infiltrations seront limitées car les portes du DE sont tangentes au chemin de fuite de l'eau vers la Meuse. Compte tenu de la grande surface libre au sous-sol, des faibles débits d'infiltration et de la disponibilité des systèmes de relevage, les pompes de refroidissement des piscines resteront disponibles.

Par ailleurs, l'inertie passive des piscines du DE permet de tenir plus de 24 jours sans découverture du combustible, même si les pompes sont arrêtées et qu'aucune action n'est entreprise.

De manière analogue à l'unité 2, les pompes CEB, les pompes EAA, la bache EAA, les GDS et les équipements importants pour le refroidissement du combustible situés dans le BUS, le BAN-N et le BAN-D resteront opérationnels. Le bâtiment O sera noyé mais, le réseau électrique extérieur restant disponible, ce sera sans conséquence sur les équipements de sûreté nécessaires au refroidissement du combustible.

Tout comme pour les unités 1 et 2, les équipements encore disponibles permettront de maintenir un refroidissement efficace et illimité dans le temps par les équipements de sauvegarde de premier et deuxième niveau.

En arrêt de tranche, l'analyse est identique à celle de l'unité 2.

Mesures envisageables pour augmenter la robustesse du site

Même si cet événement important, mais peu probable, n'implique pas de conséquence grave, il affecte de nombreux bâtiments et provoque de sérieux dégâts aux installations.

Dès lors, les actions suivantes pour les unités 2 et 3 seront entreprises :

- **modifier les procédures de gestion du séisme afin d'envoyer très vite un agent vérifier si un débordement de la tour est en cours. Dans ce cas, les pompes CEC seront rapidement arrêtées ;**
- **étudier la pertinence d'un arrêt automatique ou d'une des deux pompes CEC en cas de niveau élevé dans un bassin.**

c) Accès sur le site et accès aux locaux

Divers chemins d'accès à la salle de commande après un séisme sont identifiées : deux voies d'accès piétons/voitures constituent les chemins privilégiés en situation post-accidentelle. Ces chemins d'accès pourront être déblayés ultérieurement par un engin lourd du type bulldozer. Si les accès piétons ne sont pas praticables, un dépôt par hélicoptère est possible et diverses zones d'atterrissage seront possibles.

En ce qui concerne l'accès aux différents locaux, les bâtiments concernés étant de conception sismique, les chemins d'accès devant être empruntés après un séisme ont été conçus de manière à garder l'accès libre après un séisme.

2.1.3. Conformité des installations à leur référentiel actuel

2.1.3.1. Organisation générale de l'exploitant pour garantir la conformité

Le vieillissement des systèmes, structures et composants (SSC) liés à la sûreté d'une installation nucléaire est surveillé de manière à s'assurer que les fonctions de sûreté requises restent disponibles durant toute la vie de l'unité.

Le chapitre 16 du Rapport de Sûreté décrit les mesures de surveillance obligatoires pour chaque système. Cela permet de vérifier la disponibilité des équipements à l'aide de procédures indiquant les limites de chaque paramètre mesuré. Ce chapitre impose également les mesures à prendre – et les délais impératifs afférents – en cas d'indisponibilité des équipements. De plus, le chapitre 16 paragraphe 5 du Rapport de Sûreté décrit le programme d'essais périodiques réalisés sur ces systèmes. Ce programme décrit les mesures de surveillance appliquées aux équipements classés. Il s'agit plus particulièrement des tuyauteries, réservoirs, pompes et robinetterie, y compris leurs supports et amortisseurs.

2.1.3.2. Organisation de l'exploitant pour les approvisionnements et les équipements mobiles

Les divers scénarii de conception liés à un séisme ne nécessitent normalement pas l'utilisation d'équipements mobiles. Les équipements de première intervention sont néanmoins utilisables pour des scénarii hors conception, situations où se produiraient, par exemple, des éboulements de gravats ou des chutes de tuyauteries. Ces moyens permettraient alors d' :

- a) apporter du secours à d'éventuels blessés ;
- b) évacuer des blessés ;
- c) amener du personnel en renfort afin de constituer les équipes de crise.

Le matériel nécessaire est entreposé sur le site (ou aux alentours).

2.1.3.3. Déviations potentielles par rapport au référentiel et actions de remise en conformité

Lors des essais et des inspections décrites ci-dessus, des déviations peuvent être constatées. Si elles sont suffisamment importantes pour que l'équipement sorte de ses critères de conception, le Rapport de Sûreté (chapitre 16) décrit les délais d'intervention et les mesures à prendre. Dans certains cas

particuliers, des « notes de justification de continuer à fonctionner » (JCO) avec des déviations sont rédigées par l'exploitant et approuvées par le contrôle physique et les autorités. Ces notes démontrent que la non-conformité (partielle) d'un équipement à la réglementation ne l'empêche pas d'assurer sa fonction de sûreté, sous réserve de l'application des mesures temporaires préconisées.

Au 30 juin 2011, l'unique écart identifié sur le site de Tihange, du point de vue du séisme, a fait l'objet de la JCO 2010-01 : « La carte permettant le démarrage lent des 7 diesels de Tihange 2 n'est pas classée sismique. »

2.1.3.4. Vérification spécifique de la conformité des installations à la suite de l'accident de Fukushima

À la suite des événements de Fukushima, une vérification spécifique a eu lieu afin de contrôler que la centrale respectait bien les exigences actuelles de la licence d'exploitation. Lors de cette vérification, il a été jugé opportun de relever le niveau de qualification du circuit de refroidissement des piscines à 0,17 g. Les études et les modifications nécessaires ont été apportées avant le 30 juin 2011.

De plus, à la suite de l'accident survenu à la centrale de Fukushima, le site a également effectué une revue de fiabilité spécifique : SOER 2011-2 de WANO. Celle-ci concerne la vérification :

- des parades pour limiter les effets d'accidents hors conception ;
- de la conformité des installations à la conception en ce qui concerne la résistance à la perte des alimentations électriques ;
- de la protection contre les inondations (internes et externes) ;
- de la résistance à une inondation ou un incendie causé par un tremblement de terre.

Aucun écart du point de vue de la conception sismique du site de Tihange n'a été identifié lors de ces vérifications.

2.2 Évaluation des marges

➤ Un séisme potentiel d'intensité très supérieure à celle du DBE, appelée RLE, a été défini. Des experts internationaux indépendants ont ensuite évalué la résistance au RLE, pour tous les systèmes, structures et composants nécessaires afin d'amener la centrale à l'arrêt stable et contrôlé. Seuls vingt et un composants à Tihange 1 et trois composants à Tihange 2 ont une probabilité relativement faible de résister à un tel séisme. Ces composants feront l'objet d'une évaluation plus détaillée, et une étude de faisabilité des renforcements sera menée, si nécessaire.

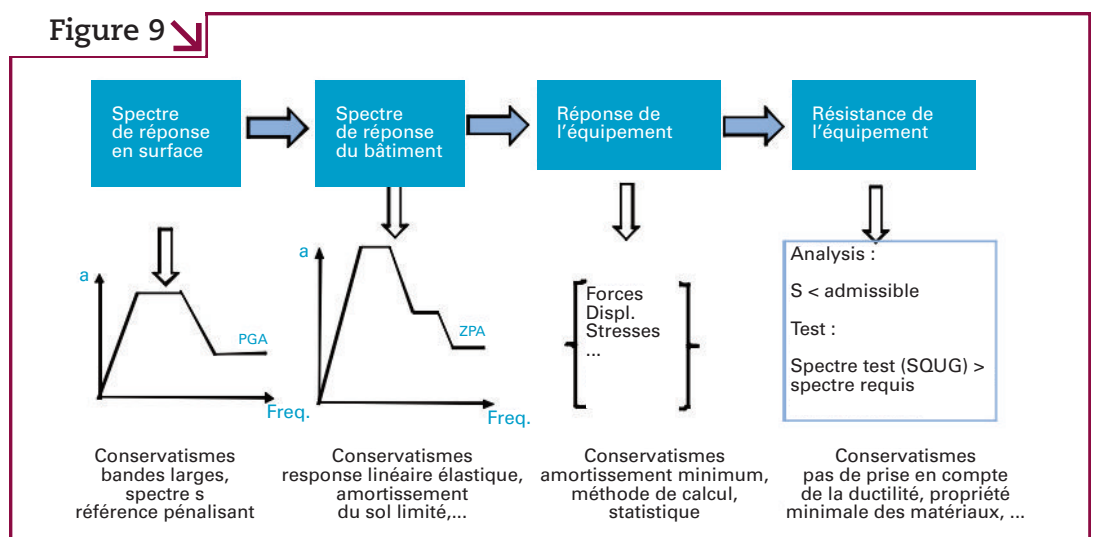
2.2.1. Niveau de séisme auquel la centrale peut résister sans dommage au combustible

2.2.1.1. Marges génériques des centrales nucléaires

Les centrales nucléaires sont conçues selon des codes et des réglementations strictes. Leur dimensionnement comprend des marges intrinsèques à chaque étape des études. À titre illustratif, voici quelques exemples parmi d'autres des conservatismes introduits dans ces études :

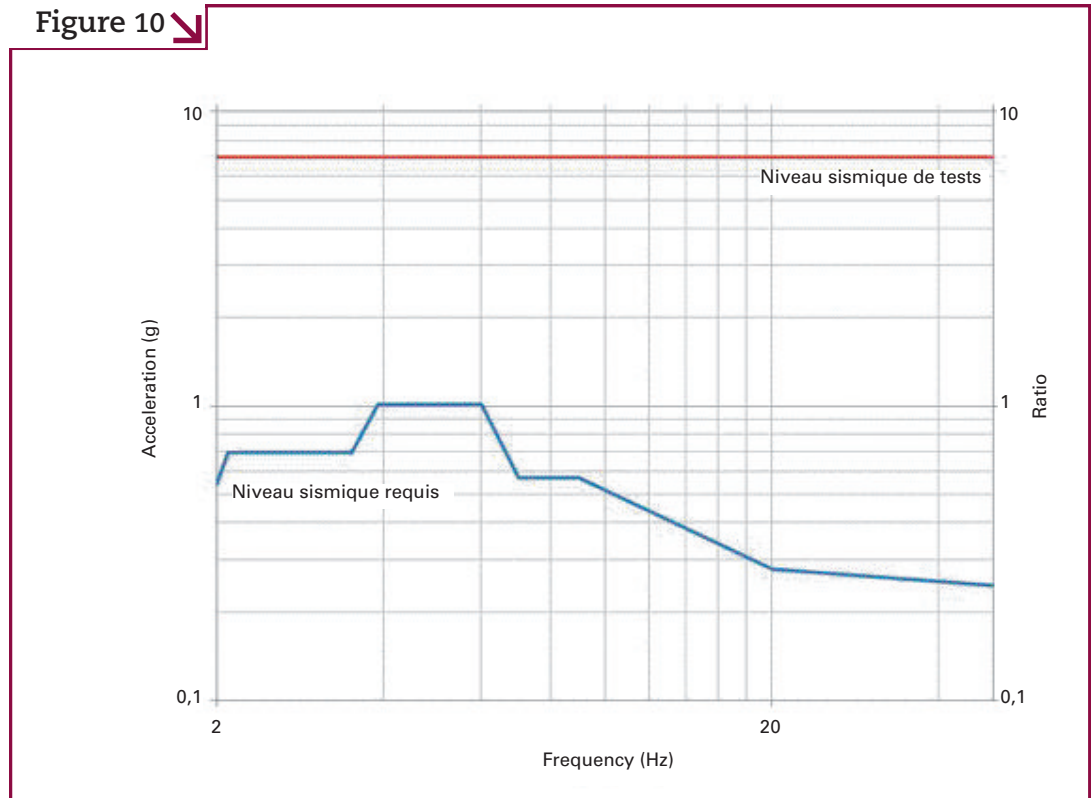
- les spectres de réponse sont élargis et les facteurs d'amplification sont souvent augmentés afin de rendre compte de la variabilité des séismes et des paramètres de sol ;
- les réponses modales des bâtiments, qui servent à vérifier la tenue des équipements mécaniques et électriques, sont obtenues selon une méthode linéaire élastique conservatrice par rapport au comportement réel. L'amortissement du sol est moindre que la réalité et les spectres de réponses calculés aux différents niveaux du bâtiment sont une nouvelle fois élargis ;
- la réponse des équipements est déterminée avec une valeur d'amortissement inférieure à la réalité et les méthodes de calculs introduisent de nouveaux conservatismes (méthode statique équivalente ou modale) ;
- lors de la vérification de la tenue structurelle, il n'est pas tenu compte de la réserve de ductilité. On utilise, en plus, des valeurs minimales garanties des propriétés des matériaux. Les codes de construction requièrent également des combinaisons de cas de charge conservatrices.

Figure 9



Conservatismes cumulés lors des calculs de dimensionnement.

Figure 10 ↘



Comparaison du spectre requis et du spectre de test pour les armoires SIP de Tihange 1.

La succession des conservatismes utilisés pour la conception des centrales nucléaires a un effet cumulatif et conduit en final à des marges généralement très élevées. À titre, d'exemple, les tuyauteries des centrales nucléaires sont très ductiles et peuvent se déformer de manière très importante avant qu'apparaisse en réalité un risque de défaillance. On peut considérer que les marges couramment observées pour des tuyauteries nucléaires en cas de séisme sont de l'ordre de 4. En d'autres termes, on peut quadrupler le chargement sismique sans qu'apparaisse de problème pour la sûreté de l'installation. Les équipements et composants électriques sont testés sur des tables vibrantes à des sollicitations sismiques bien plus élevées que celles requises.

À titre d'exemple représentatif, la figure 10 présente cette différence entre le niveau sismique requis et le niveau de test pour des armoires SIP de Tihange 1 situées dans le BAE. On peut constater, pour ce cas, que la marge est au moins supérieure à 6,9 pour toutes les fréquences. Le coefficient de sécurité moyen est supérieur à 10.



Un exemple concret des marges de conception des centrales nucléaires est le tremblement de terre de 2007 de Chūetsu-oki. Ce séisme de magnitude 6,81 qui s'est produit le lundi 16 juillet 2007 dans la région de Niigata et a été fortement ressenti dans la principale île du Japon. Il a été accompagné de plusieurs autres répliques importantes dans le même secteur, dont une de magnitude 5,8 à 15h37 heure locale le même jour. Les secousses constatées ont dépassé

les niveaux de référence de chaque réacteur de la centrale de Kashiwazaki-Kariwa. Une accélération de 0,62 g a notamment été relevée au niveau du réacteur n° 2, soit plus de 3 fois sa référence de conception (0,17 g). Le réacteur n° 1 a subi les plus fortes secousses jamais enregistrées à cette date par un réacteur nucléaire au Japon.

Un arrêt d'urgence s'est produit sur quatre des sept unités du site, trois étaient en fonctionnement au

moment du séisme (tranches 3, 4 et 7) et un en-cours de démarrage (tranche 2), les autres étant déjà à l'arrêt pour inspection. Sur l'ensemble du site, aucun dégât important n'a été constaté sur les parties sismiques de l'installation, le séisme a seulement provoqué un incendie et des fuites d'eau contenant des éléments radioactifs mais n'a pas remis en cause la capacité des installations à amener les réacteurs dans un état stable et contrôlé.

Les marges intrinsèques des centrales nucléaires sont donc généralement très élevées. Cette situation n'est pas comparable à celle observée pour les constructions conventionnelles qui sont dimensionnées par exemple selon l'Eurocode-8, lequel exclut clairement les centrales nucléaires de son domaine d'application. Le chargement sismique agissant sur les ouvrages conventionnels est intentionnellement réduit pour tenir compte de la dissipation d'énergie de déformation. Ceci n'est pas admis pour la conception des structures nucléaires. Pour un même niveau sismique, le dimensionnement des structures nucléaires est donc nettement plus contraignant. Bien que respectant tous les codes et normes de conception nucléaire, il se peut que quelques points particuliers présentent des marges plus faibles que celles généralement observées. Cette situation se présente en particulier pour des centrales nucléaires plus anciennes vérifiées avec les méthodes applicables à l'époque et dont le niveau sismique a été réévalué, comme Tihange 1. Pour répondre de manière circonstanciée, il faut examiner chaque structure, système ou composant de l'installation nucléaire nécessaire à la mise à l'arrêt stable et contrôlé. Un examen détaillé pour en évaluer la marge disponible représente un travail extrêmement conséquent. Comme décrit dans le paragraphe suivant, une méthodologie a été développée afin de répondre de manière fiable, selon une approche reconnue, à la question posée dans le cadre de ces évaluations complémentaires de sûreté.

2.2.1.2 Points faibles et effet falaise

a) Description de l'étude

Une étude a été menée pour les trois unités de Tihange, dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté (les « tests de résistance ») demandées aux opérateurs suite à l'accident de Fukushima. Cette évaluation des marges de résistance sismique du site menée pour les trois unités de Tihange est basée sur deux éléments principaux.

D'une part, une analyse du comportement des structures, systèmes et composants (SSC) subissant un séisme plus élevé que le séisme de conception actuel des unités. Elle utilise les analyses sismiques, les résultats des inspections SQUG et d'études SMA déjà entreprises dans le cadre des révisions périodiques de sûreté.

D'autre part, une étude dérivée de la méthodologie SMA (nommée SMR, *Seismic Margin Review*) et basée sur le jugement d'ingénieurs expérimentés, y compris des experts internationaux reconnus ayant de nombreuses références dans le domaine (SGH).

En particulier, ces experts ont inspecté les SSC nécessaires à la mise à l'arrêt stable et contrôlé pour chacune des trois unités. Cette liste a été complétée par les SSC nécessaires au maintien des fonctions de refroidissement des piscines de désactivation. Ces inspections ont d'ores et déjà été effectuées dans tous les bâtiments accessibles en période de fonctionnement. Pour les bâtiments non accessibles, ces inspections seront complétées pendant les arrêts programmés des unités.

La méthodologie SMA, telle que définie dans le guide EPRI-NP-6041, recommande de considérer un niveau sismique nettement plus élevé que le séisme de conception de la centrale, et de le confronter à la capacité de résistance réaliste de l'installation. Ce faisant, les marges de conception des systèmes structures et composants peuvent être mises en évidence.

Le niveau sismique plus élevé que le niveau sismique de conception des unités, dit *Review Level Earthquake* (RLE), n'est donc pas un nouveau séisme de dimensionnement mais un niveau spécifique à la méthode. Pour Tihange, il a été choisi sur la base des éléments suivants :

- a) le guide européen pour les nouvelles centrales nucléaires (EUR) recommande un ratio de 1.4 entre les accélérations au sol dues au RLE et celles dues au DBE, d'autres guides internationaux évoquent des ratios allant de 1,5 (augmentation de 50 %) à 1,66 (augmentation des deux tiers) ;
- b) une forme spectrale représentative des conditions du site de Tihange ;
- c) l'étude d'aléa sismique réalisée par l'Observatoire Royal de Belgique (ORB) pour ce projet. Cette étude considère les données sismiques les plus récentes.

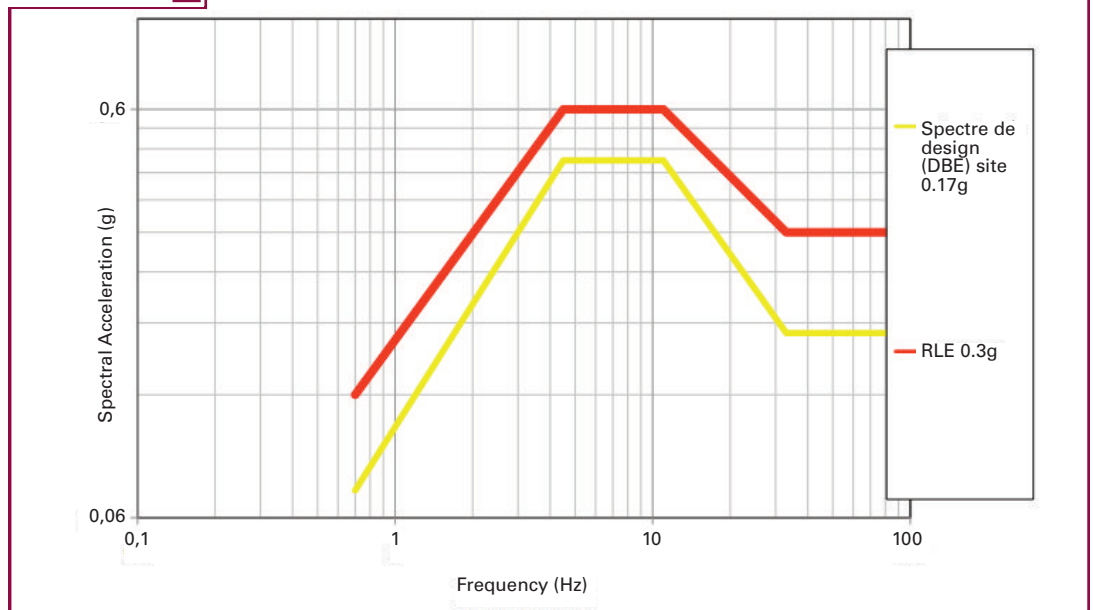


Étude SMA

Le *Seismic Margin Assessment* (SMA) a pour but de quantifier les marges disponibles d'une centrale nucléaire au-delà de son niveau sismique de conception. Ces études, employées et reconnues internationalement, suivent une méthodologie développée par l'EPRI et décrite dans le document NP-6041. La méthode est basée sur la définition d'un « *Review Level Earthquake* » (RLE) qui permet de mettre à l'épreuve (théorique) la tenue sismique d'une centrale nucléaire au-delà de son DBE, d'identifier les points faibles et de mettre en évidence les marges disponibles.

Le retour d'expérience de événements réels constitue la base de connaissance du comportement des équipements en cas de séisme. Cette base nourrit l'écriture de guides précis d'inspection des sites. Les études SMA sont donc utilisées pour démontrer qu'une centrale en exploitation peut résister à un séisme plus élevé que celui considéré lors de sa conception. Il est notoire que les données sismologiques et les méthodes de définition de l'aléa sismique évoluent en fonction des connaissances (c'est d'ailleurs le cas à Tihange). La méthodologie SMA a été appliquée à de nombreuses centrales dans le monde pour démontrer que des aléas sismiques revus à la hausse sont cependant acceptables, moyennant d'éventuelles mesures de renforcement d'équipements à faible marge. Ces études ont déjà été approuvées par les autorités de plusieurs pays et par la *Nuclear Regulatory Commission* (NRC) pour toutes les centrales américaines.

Figure 11



Comparaison entre le spectre RLE et le spectre DBE.

b) Analyse du choix du RLE

L'analyse a conduit à la définition du spectre RLE présenté à la figure ci-dessus. La réponse maximale est de 0,6 g pour les fréquences inférieures à 12 Hz. Pour des fréquences plus élevées, l'accélération maximale au niveau du sol (PGA) est de 0,3 g. Cela correspond à un tremblement de terre d'une magnitude supérieure à 6,5 sur l'échelle de Richter.

Cette valeur de RLE (0,3 g) est couramment utilisée pour réaliser des études d'évaluation des marges sur des sites présentant des caractéristiques sismologiques similaires. En parallèle, une nouvelle étude de la sismicité du site de Tihange a été menée par l'ORB. Les résultats de cette étude ont permis de conforter le choix de RLE, et donc de poursuivre les études sur cette base. En effet, les études de l'ORB annoncent une accélération sur le site de Tihange sensiblement moins élevée (0,21 g au niveau de la roche mère).

L'étude réalisée pour ce projet, basée sur la méthodologie SMA, dite SMR, intègre les phases suivantes :

- un examen des bases de conception sismique et des documents de conception des installations des trois unités de Tihange notamment ;
- les données et résultats des études de stabilité de sol et des fondations des bâtiments ;
- les résultats des analyses sismiques des structures d'origine et les résultats de réévaluation (analyses, essais sur table vibrante, etc.) ;
- les résultats d'une analyse SMA préliminaire effectuée à Tihange 1 dans le cadre d'une révision périodique de sûreté ;
- les résultats d'une analyse SMA préliminaire effectuée à Doel 3 (représentative de Tihange 2) dans le cadre d'une révision périodique de sûreté ;
- une revue de la stratégie d'arrêt stable et contrôlé ;
- l'établissement et le passage en revue de la liste des SSC nécessaires à la mise à l'arrêt stable et contrôlé pour chacune des trois unités. Cette liste a été complétée par les SSC nécessaires au maintien des fonctions de refroidissement des piscines de désactivation ;
- une revue du spectre RLE développé par Electrabel ;
- une inspection de ces SSC ;
- une évaluation de la tenue à un séisme de niveau RLE ;
- de plus, de manière à avoir un regard critique sur les résultats de ces inspections, d'autres experts indépendants des premiers ont effectué une vérification/inspection complémentaire. Cette démarche permet d'avoir un degré de confiance très élevé dans les résultats obtenus.

L'ensemble des SSC inspectés est représentatif de la liste identifiée au paragraphe 2.1.2.1. De plus, cet échantillon a été choisi de manière, d'une part, à prendre en considération tous les points d'attention relevés lors des dernières révisions périodiques de sûreté et, d'autre part, à permettre l'évaluation de chaque type d'équipement (comme l'illustre la figure 12).

Il est important de spécifier que ces inspections reprennent les SSC identifiés comme nécessaires en cas de séisme de niveau inférieur pour arriver à l'arrêt stable et contrôlé au départ des états suivants :

- fonctionnement en puissance ou à l'arrêt (GV disponibles) ;
- arrêt à froid (GV indisponibles) ;
- cœur entièrement déchargé en piscine.

L'étude évalue les installations et la capacité de celles-ci à amener la centrale dans un état stable et contrôlé pour l'ensemble des scénarii listés ci-dessus. Ces évaluations consistent, pour les bâtiments, à :

- identifier la présence de murs en maçonnerie ou d'autres éléments non sismiques à proximité d'équipements classés sismiques ;
- identifier les modifications liées à une intervention locale qui peuvent compromettre l'intégrité structurelle ;
- vérifier les joints de dilatation entre bâtiments/structures ;
- identifier les risques d'impact potentiel des bâtiments/structures adjacents ;
- identifier les chargements sismiques et des modes de défaillance potentiels en se basant sur une évaluation détaillée des plans des bâtiments, y compris les détails et les calculs de conception.

Concernant l'évaluation des équipements électriques et mécaniques, les inspections se déroulent selon le programme suivant :

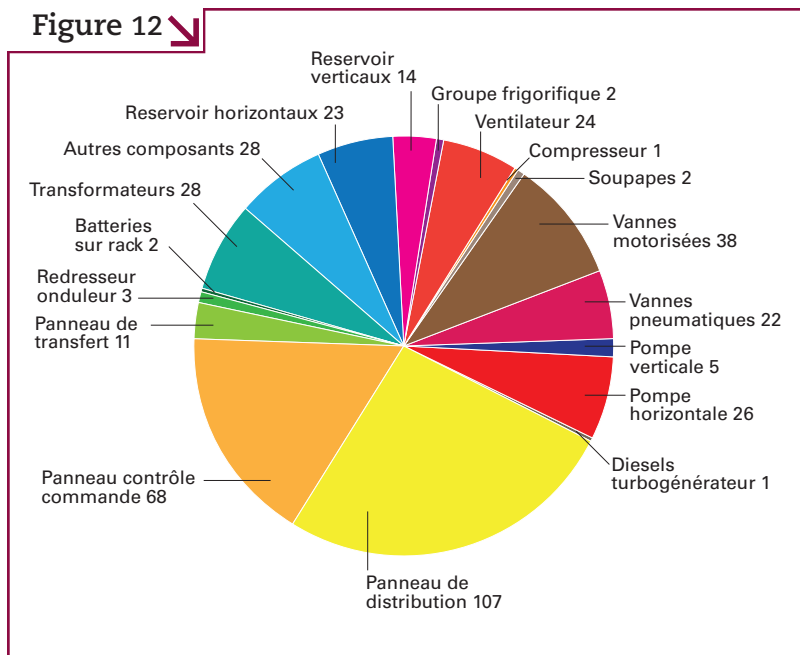
- évaluer leur conformité aux recommandations de l'EPRI NP-6041 ;
- évaluer la disponibilité et la capacité du composant à remplir sa fonction après un séisme de niveau RLE ;
- estimer (jugement d'experts) les ancrages des équipements ;
- évaluer les interactions sismiques entre les composants examinés ou avec des équipements non sismiques situés dans leur voisinage ;
- évaluer les effets indirects du séisme de niveau RLE : risque d'inondation interne ou externe.

c) Évaluation des marges

Après évaluation, les SSC identifiés ont été classés en trois catégories :

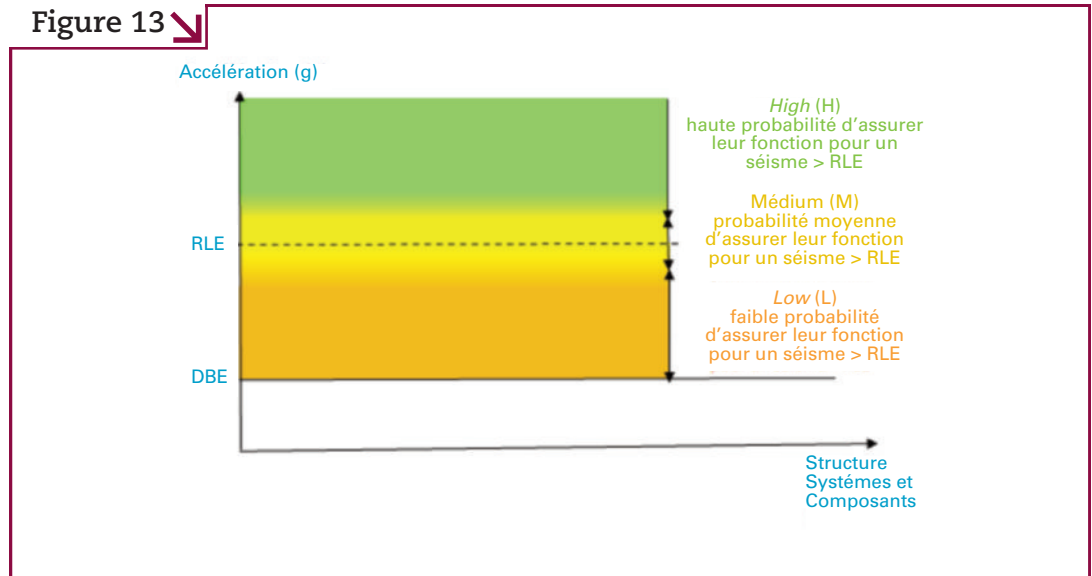
- a) les structures, systèmes et composants ayant une très forte probabilité (95 % de confiance) de conserver leur intégrité et d'assurer leur fonction pour un séisme dépassant le niveau RLE. Ils sont classés *High* (H) ;
- b) les structures, systèmes et composants ayant une probabilité moyenne (50 % de confiance) de conserver leur intégrité et d'assurer leur fonction pour un séisme dépassant le niveau RLE. Ils sont classés *Medium* (M). Cette catégorie comprend aussi, à titre provisoire, les éléments pour lesquels il est difficile de se prononcer sans données et évaluations complémentaires pour les classer *High* (H) ;
- c) les structures, systèmes et composants ayant une probabilité faible (10 % de confiance) de conserver leur intégrité et d'assurer leur fonction pour un séisme dépassant le niveau RLE. Ils sont classés *Low* (L).

Figure 12 ↘



Repartition des SSC inspectés.

Figure 13



Classification des SSC en catégorie H, L, M.

Extrait du rapport final des experts internationaux

« Les inspections de la plus ancienne unité (Tihange 1) ont confirmé la robustesse sismique des SSC au-delà de leur base de conception. Seuls quelques points vulnérables ont été identifiés. Des évaluations complémentaires seront nécessaires pour démontrer la marge sismique par rapport au RLE. Les inspections des unités plus récentes (Tihange 2 et 3) n'ont révélé aucune préoccupation sismique majeure. Nous estimons que ces unités pourraient aisément prouver qu'elles peuvent résister à un RLE. »

La liquéfaction

La liquéfaction est un phénomène d'instabilité qui affecte les sols sablonneux fins lors de séismes de grande ampleur. Ce phénomène entraîne la perte de la cohésion du sol, qui commence à se comporter comme un liquide. En particulier, il ne peut plus porter les bâtiments.

Il est important de souligner que l'évaluation des marges est réalisée par rapport au RLE (accélération au sol de 0,3 g) et que l'ensemble des SSC nécessaires à la mise à l'arrêt stable et contrôlé sont et restent qualifiés au DBE. Ce classement des composants sismiques fournit une image générale de la capacité des composants de l'installation par rapport au RLE. Comme l'illustre la figure ci-dessus, un élément qualifié *Low* ne signifie pas nécessairement qu'il n'a pas une capacité proche du RLE, mais ceci ne peut pas être démontré par l'inspection. Une évaluation détaillée (par calcul ou essais) ou une modification peut permettre d'éliminer rapidement les faiblesses de l'équipement.

Les SSC dont la probabilité de résistance au RLE a été considérée comme faible lors de l'inspection (catégorie *Low*) feront l'objet de calculs détaillés ou de jugement d'experts afin de déterminer plus précisément leur marge sismique. C'est en effet la résistance effective du maillon le plus faible qui déterminera le séisme le plus élevé auquel l'unité dans son ensemble peut résister. Les éventuels effets falaise (*cliff edge effects*) sont également identifiés. Ces études permettent évidemment d'identifier les SSC candidats pour d'éventuelles améliorations afin d'augmenter encore la marge de l'unité vis-à-vis de son DBE.

2.2.1.3 Résultats

Les études de marges entreprises à ce jour pour un RLE caractérisé par un PGA de 0,3 g ont abouti aux conclusions suivantes : « *The walkdowns of older unit (Tihange 1) confirmed the seismic ruggedness of SSCs beyond the design basis; only a few seismic vulnerabilities were identified. Some further evaluations are needed to demonstrate the seismic margin to RLE. The walkdowns of newer units (Tihange 2&3) did not reveal any major seismic issues. We judge that these units could easily be shown to survive an RLE* » (voir ci-contre).

Il faut noter que les études se poursuivent, avec notamment la visite qui a eu lieu en septembre 2011 à l'intérieur du bâtiment réacteur durant l'arrêt programmé de Tihange 1.

a) Site de Tihange

Des études du sol de Tihange, basées sur les derniers essais de sol menés dans le cadre d'autres projets (construction de nouveaux bâtiments sur le site), ont été réalisées par des experts français. Cette analyse tient compte de la quantité de particules fines présentes dans les différentes couches de composition du sol de Tihange et de la présence d'eau dans le sol (derniers relevés piézométriques). Elle a montré que, pour des séismes atteignant le niveau du RLE, le sol ne présente aucun risque de **liquéfaction**.

Ces études ont également démontré qu'il n'existe pas de risque d'instabilité de relief sur le site de Tihange, c'est-à-dire aucun risque de glissement de terrain.

b) Tihange 1

Les rapports des inspections des experts internationaux, ainsi que leur rapport de synthèse concluent, pour les SSC nécessaires pour amener la centrale à l'arrêt stable et contrôlé, que :

- 43 % des structures, systèmes et composants sont classés *High* (H) ;
- 34 % des SSC sont classés entre *Medium* (M) et *High* (H). Ces composants sont principalement des armoires électriques n'ayant pas pu être inspectées en fonctionnement et ayant été jugés par transposition par rapport aux autres armoires électriques de même conception.

Les études actuellement en cours montrent qu'une majorité de ces SSC seront en définitive classés *High* (H) ;

- 16 % des SSC pourraient avoir une probabilité moins élevée (probabilité moyenne) d'assurer leur fonction pour un séisme dépassant le RLE. Ces SSC sont classés *Medium* (M) ;
- 2 % des SSC (soit dix composants) ne peuvent pas être inspectés et sont jugés au cas par cas sur base des données disponibles (dossiers constructeur, notice de conception, note de calculs, retour d'expérience international, etc.). Ces dix composants sont évalués de manière conservatrice en *Medium* (M) ;
- 5 % des SSC, soit 21 composants, ont été classés dans la catégorie *Low* (L).

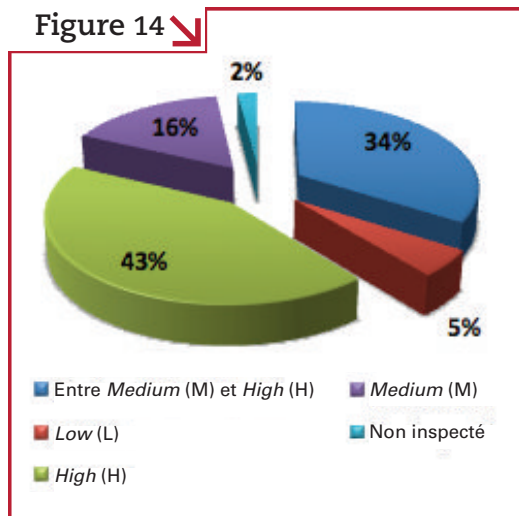
Les 21 composants classés *Low* pourraient être aisément portés à la classification *High* moyennant des calculs plus précis ou des modifications simples à mettre en œuvre. La liste de ces composants est donnée dans le tableau ci-contre (en hors texte). Des études complémentaires sont en cours afin de confirmer la faisabilité de ces modifications.

Le bâtiment des auxiliaires électriques BAE, initialement classé en catégorie *Low* (L) lors des *walkdowns* a été reclassé en catégorie *Medium* (M) par les experts indépendants après évaluation détaillée. **L'opportunité de renforcer ce bâtiment fait l'objet d'une étude de faisabilité.** Il faut cependant souligner que l'intensité sismique identifiée pour le site Tihange (VIII sur l'échelle MSK) ne conduirait pas à un endommagement important du bâtiment.

Les résultats de cette étude SMR peuvent être complétés par l'évaluation de la tenue sismique des composants et supports du circuit primaire, qui ont été évalués dans le cadre de la dernière révision décennale (SMA préliminaire). Il a été conclu que ces équipements bénéficient d'une marge importante par rapport au séisme de niveau DBE. Selon l'étude SMA préliminaire, basée sur le RLE (PGA de 0,3 g), les composants du circuit primaire et leurs supports sont suffisamment robustes et ne nécessitent pas de réévaluation particulière.

On peut donc conclure que la majorité des composants a une très forte probabilité (95 % de confiance) de conserver son intégrité et d'assurer sa fonction après un séisme dépassant le niveau du RLE.

Figure 14 ↘



Résultats de l'étude pour Tihange 1.

Tableau 7 ↘

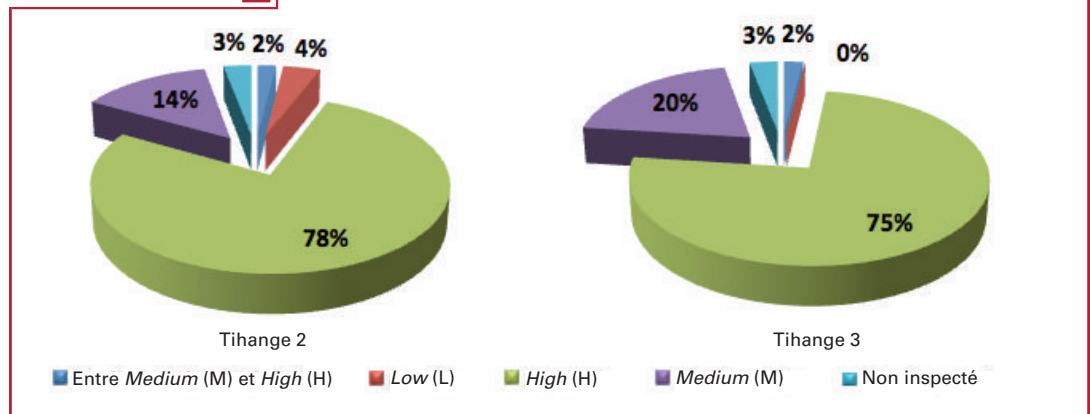
Liste des SSC classés « L » à Tihange 1

Équipement	Type d'équipement
PCT1-CCV-V002PF	Vanne pneumatique
PCT1-CCV-V005PV	Vanne pneumatique
PCT1-CAE-P01Ba1	Pompe
PCT1-CRI-Q01DR1	Échangeur
PCT1-CTP-Q01BD1	Échangeur
PCT1-CTP-Q01BD1BIS	Échangeur
PCT1-CEB-P01EB3	Pompe
TAM1/S1	Tableau électrique
TAM8/S1	Tableau électrique
TR2/S1	Transformateur 6 kV-380V
TR3/S1	Transformateur 6 kV-380V
PDT/UR1	Panneau de transfert
PDT/UR2	Panneau de transfert
TAM1/S2	Tableau électrique
TAM8/S2	Tableau électrique
TR2/S2 ; TR3/S2	Transformateur 6 kV-380V
PCT1-SCS	Filtre
PCT1-SCS	Filtre
PCT1-VLE-F13AV	Filtre
PCT1-VLE-Q02AC1	Échangeur
PCT1-VLE-Q04AC1	Échangeur

c) Tihange 2 et Tihange 3

Les études de marge préliminaires réalisées dans le cadre des révisions décennales de centrales ont démontré que les SSC des unités de Doel 3 présentaient des marges importantes par rapport aux bases de conception (DBE). Les conceptions de Tihange 2 et Tihange 3 étant similaires à celles de Doel 3 et Doel 4, ces études ont permis d'établir un programme d'inspection ciblé pour ces unités.

Figures 15 et 16 ↘



Résultats de l'étude pour Tihange 2 et 3.

Le rapport des inspections des experts internationaux conclut pour Tihange 2 :

- 78 % des structures, systèmes et composants sont classés *High (H)* ;
- 2% des SSC sont classés entre *Medium (M)* et *High (H)*. Ces composants sont principalement des armoires électriques n'ayant pas pu être inspectées en fonctionnement et ayant été jugés par transposition par rapport aux autres armoires électriques de même conception. Les inspections seront approfondies pendant l'arrêt de l'unité. Les études actuellement en cours montrent qu'une majorité de ces SSC seront en définitive classés *High (H)* ;
- 14 % des SSC pourraient avoir une probabilité moins élevée (probabilité moyenne) d'assurer leur fonction pour un séisme dépassant le RLE. Ces SSC sont classés *Medium (M)* ;
- 3 % des SSC (soit deux composants) ne peuvent pas être inspectés et sont jugés au cas par cas sur base des données disponibles (dossiers constructeur, notice de conception, note de calculs, retour d'expérience international, etc.). Ces deux composants sont évalués de manière conservatrice en *Medium (M)* ;
- 4 %, ont été classés dans la catégorie *Low (L)*.

Le rapport des inspections des experts internationaux conclut pour Tihange 3 :

- 75 % des structures, systèmes et composants sont classés *High (H)* ;
- 2 % des SSC sont classés entre *Medium (M)* et *High (H)*. Ces composants sont principalement des armoires électriques n'ayant pas pu être inspectées en fonctionnement et ayant été jugés par transposition par rapport aux autres armoires électriques de même conception. Les inspections seront approfondies pendant l'arrêt de l'unité. Les études actuellement en cours montrent qu'une majorité de ces SSC seront en définitive classés *High (H)* ;
- 20 % des SSC pourraient avoir une probabilité moins élevée (probabilité moyenne) d'assurer leur fonction pour un séisme dépassant le RLE. Ces SSC sont classés *Medium (M)* ;
- 3 % des SSC (soit deux composants) ne peuvent pas être inspectés et sont jugés au cas par cas sur base des données disponibles (dossiers constructeur, notice de conception, note de calculs, retour d'expérience international, etc.). Ces deux composants sont évalués de manière conservatrice en *Medium (M)* ;
- aucun SSC, n'a été classé dans la catégorie *Low (L)*.

Ces résultats peuvent être complétés par l'évaluation de la tenue sismique des composants et supports du circuit primaire, qui ont été évalués dans le cadre de la dernière révision décennale (SMA préliminaire). Il a été conclu que ces équipements bénéficient d'une marge importante par rapport au séisme de niveau DBE. Selon l'étude SMA préliminaire, basée sur le RLE (PGA de 0,3 g), les composants du circuit primaire et leurs supports sont suffisamment robustes et ne nécessitent pas de réévaluation particulière.

En ce qui concerne les marges de résistance sismique, la situation de Tihange 2 et 3 est encore plus favorable que celle de Tihange 1. La grande majorité des SSC nécessaires à l'arrêt stable et contrôlé de ces unités a une très forte probabilité de conserver son intégrité et sa fonction après un séisme supérieur au niveau du RLE.

En ce qui concerne les composants mécaniques et électriques, aucune faiblesse significative n'a été identifiée. À noter cependant que certains composants présentent des marges moins élevées : 3 équipements ont été évalués *Low* sur Tihange 2 (deux d'entre eux pour des raisons d'interaction avec d'autres équipements non sismiques). La liste de ces composants est donnée dans le tableau ci-contre.

Tableau 8 ↘

Liste des SSC classés « L » à Tihange 2

Équipement	Type d'équipement
PCT2-CEG-Z01	Groupe frigorifique
PCT2-CSC-A02B	Ventilateur
PCT2-CTP-B02R	Réservoir

d) Bâtiment réacteur

Une deuxième inspection a eu lieu en septembre 2011 afin de profiter de l'arrêt de l'unité 1 pour réaliser l'évaluation des SSC présents dans le bâtiment réacteur. Conformément aux résultats des études réalisées dans le cadre des révisions périodiques décennales, cette inspection n'a révélé aucun SSC classé *Low*.

Cet excellent résultat est le reflet du dimensionnement conservatif de ces SSC. Il peut également être considéré comme représentatif du niveau de dimensionnement des SSC des sept réacteurs Electrabel. En effet, les mêmes règles de dimensionnement ont été appliquées pour le calcul de ces SSC.

2.2.1.4. Mesures envisageables pour augmenter la robustesse des installations

À Tihange 1, 21 SSC ont été classés *Low*, donc considérés comme ayant une faible probabilité de résister à un séisme supérieur au RLE.

Ces composants pourraient être aisément portés à la classification *High* (forte probabilité de résister) moyennant des calculs plus précis ou des modifications simples à mettre en œuvre, comme proposé dans le tableau 9 page suivante. Les études de réalisation sont en cours.

Tableau 9 ↘

Liste des améliorations possibles pour Tihange 1

Équipement	Type d'équipement	Localisation	Amélioration possible
PCT1-CCV-V002PF	Vanne pneumatique	BAN N202	Ajout d'un support latéral
PCT1-CCV-V005PV	Vanne pneumatique	BAN N202	Ajout d'un support latéral
PCT1-CAE-P01Ba1	Pompe	BAN N252	Ajout d'un support au refoulement et à l'aspiration de la pompe
PCT1-CRI-Q01DR1	Échangeur	BAN N313	Ajout de fixation
PCT1-CTP-Q01BD1	Échangeur	BAN N452	Ajout d'ancrage
PCT1-CTP-Q01BD1BIS	Échangeur	BAN N452	Ajout d'ancrage
PCT1-CEB -P01EB3	Pompe	Station de pompage	Fixation du caillebotis au dessus de la pompe
TAM1/S1	Tableau électrique	BAE E504	Ajout ancrage
TAM8/S1	Tableau électrique	BAE E504	Ajout ancrage
TR2/S1	Transformateur 6kV-380V	BAE E504	Ajout d'ancrage pour tenir compte des déplacements de type cisaillement
TR3/S1	Transformateur 6kV-380V	BAE E504	Ajout d'ancrage pour tenir compte des déplacements de type cisaillement
PDT/UR1	Panneau de transfert	BAE E504	Retrait d'une liaison vers le mur en maçonnerie
PDT/UR2	Panneau de transfert	BAE E506	Retrait d'une liaison vers le mur en maçonnerie
TAM1/S2	Tableau électrique	BAE E506	Ajout d'ancrage de liaison armoire et panneau
TAM8/S2	Tableau électrique	BAE E506	Ajout d'ancrage de liaison armoire et panneau
TR2/S2; TR3/S2	Transformateur 6 kV-380 V	BAE E506	Ajout d'ancrage pour tenir compte des déplacements de type cisaillement
PCT1-CSC-F06AO1	Filtre	BAE E603	Revoir les ancrages
PCT1-CSC- F07AO1	Filtre	BAE E603	Revoir les ancrages
PCT1-VLE-F13AV	Filtre	BAE E603	Protéger contre les interactions avec le mur en maçonneries
PCT1-VLE-Q02AC1	Échangeur	BAE E603	Revoir les ancrages
PCT1-VLE-Q04AC1	Échangeur	BAE E603	Revoir les ancrages

À Tihange 2, trois équipements ont été évalués *Low*. De la même façon que pour Tihange 1, les améliorations possibles seront évaluées au cas par cas. Le tableau 10 présente les améliorations identifiées comme possible au regard des résultats des *walkdowns*. **L'analyse détaillée de chaque cas permettra d'évaluer la meilleure amélioration à mettre en œuvre si nécessaire.**

Tableau 10 
Liste des améliorations possibles pour Tihange 2

Équipement	Type d'équipement	Localisation	Amélioration possible
PCT2-CEG-Z01	Groupe frigo	BAE E165	Interaction avec mur en maçonnerie
PCT2-CSC-A02B	Ventilateur	BAE E853 Flr +5	Inspecter les tuyauteries aux abords du moteur du ventilateur
PCT2-CTP-B02R	Réservoir	BAN N320	Réévaluer l'ancrage avec les plans de détails et notes de calcul existantes

De façon générale, ces résultats ne montrent aucun risque significatif de défaillance des équipements. En effet les points d'améliorations relevés sur les trois unités ne représentent pas de difficulté particulière. Dans la plupart des cas, ces améliorations semblent aisées et ne sont pas forcément indispensables d'un point de vue sûreté mais seront réalisées de manière à mettre l'installation en conformité vis-à-vis de ces résultats.

Conclusion

L'évaluation réalisée n'a pas mis en évidence de lacune mettant en péril la sûreté des installations. Les marges relevées dans le cadre de cette étude démontrent la capacité de la centrale nucléaire de Tihange à résister à un séisme de niveau élevé.

2.2.2. Intensité sismique menaçant l'intégrité du confinement

2.2.2.1. Introduction

Une analyse de la tenue au séisme des enceintes et pénétrations des unités de Doel et Tihange pour les séismes RLE a été menée. Elle repose sur une approche du type « jugement d'expert » basée sur l'EPRI-NP-6041.

2.2.2.2. Tihange 1, 2 et 3

a) Enceinte de confinement (enceinte primaire)

L'enceinte de confinement est constituée d'une structure en béton armé précontraint assurant la protection de cette dernière contre les accidents internes. Elle se présente comme un cylindre surmonté d'un dôme hémisphérique, et est revêtue (à l'intérieur) d'un liner en acier assurant l'étanchéité.

Les enceintes de confinement sont constituées de voiles épais et armés pour résister aux pressions résultant des hypothèses d'accident pris en compte dans leurs bases de conception, ce qui leur confère une résistance inhérente au séisme. Structurellement, ces enceintes correspondent aux descriptions de celles analysées dans l'appendice A du NP-6041, qui leur confère un HCLPF de bien au-delà de 0,3 g en termes de PGA.

b) Enceinte extérieure (enceinte secondaire)

L'enceinte extérieure est une structure en béton armé entourant l'enceinte primaire et assurant la protection de cette dernière contre les accidents externes. Comme l'enceinte primaire, elle a un fort potentiel de résistance aux séismes supérieurs à 0,3 g en termes de PGA.

c) Fondation des enceintes

Les deux enceintes sont fondées sur un radier général commun ancré profondément dans un sol très ferme (schiste altéré). Cette fondation ne présente aucune vulnérabilité sismique particulière,

elle est largement capable de transférer les actions sismiques au sol sous-jacent pour des séismes de 0,3 g en termes de PGA.

d) Tenue des pénétrations mécaniques

La tenue des pénétrations est tributaire des actions inertielles et des déplacements différentiels. On distingue les pénétrations majeures (sas personnel, sas matériel, sas de secours et tube de transfert), les pénétrations des lignes de tuyauteries (eau alimentaire, vapeur et lignes auxiliaires), celles des conduites de ventilation et les pénétrations électriques.

Les enceintes ainsi que les bâtiments nucléaires adjacents étant très raides, leurs déplacements relatifs sont faibles et largement compatibles avec la capacité de ces pénétrations ; notamment grâce à la présence des compensateurs de dilatation. Pour les actions inertielles, le fait que les structures soient de conception robuste en vue de résister, entre autres, aux charges accidentelles de pressurisation, leur confère une résistance inhérente à des séismes supérieurs à 0,3 g en termes de PGA, conformément au NP-6041.

2.2.2.3. Conclusion

Du point de vue structurel, la situation des enceintes de confinement des trois unités de Tihange correspond bien à celles du NP-6041, pour lesquelles un HCLPF supérieur à 0,3 g est garanti.

2.2.3. Séismes supérieurs au séisme de conception et inondations résultantes

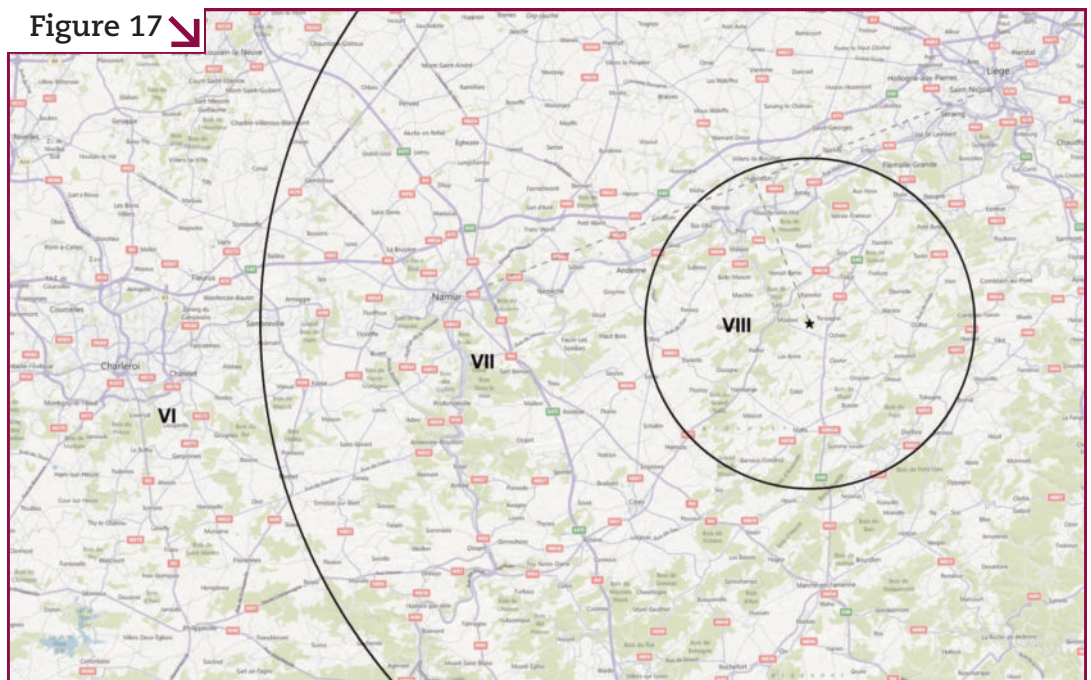
2.2.3.1. Inondation par la Meuse

Le séisme dépassant le DBE considéré pour le site de Tihange correspond au séisme RLE (Reference Level Earthquake), tel que défini dans les paragraphes précédents (caractérisé par une PGA de 0,3 g).

Un tel événement correspond à une intensité épicentrale de VIII sur l'échelle MSK. Pour cette étude, ce séisme est supposé se produire à la limite de l'ensemble sismotectonique, au plus près du site soit à 11 km vers le sud de la centrale de Tihange suivant la perpendiculaire à l'axe de la Meuse entre Namur et Liège (hypothèse de l'étude de l'ORB).

La carte ci-dessous représente les isoséistes (lignes d'égale intensité) qui en découleraient. Étant donné les caractéristiques d'atténuation de la région, il apparaît les zones d'influence suivantes.

Figure 17 ↘



Carte des isoséistes.

À partir de l'épicentre, on distingue :

- une zone de 15 km de rayon où l'intensité sismique est de VIII sur l'échelle MSK (le site de Tihange, à 11 km de l'épicentre, est donc situé dans cette zone) ;
- une deuxième zone, de 15 à 50 km de l'épicentre, où l'intensité sismique est de VII sur l'échelle MSK ;
- une troisième zone, de 50 à 220 km de l'épicentre, où l'intensité sismique est de VI sur l'échelle MSK.

Les accélérations liées à ces intensités sismiques, estimées à partir des courbes de corrélation intensité/accélération extraites du paragraphe 2.5 du Rapport de Sûreté de l'unité de Tihange 2, sont :

- première zone (intensité VIII) : 0,25 g ;
- deuxième zone (intensité VII) : 0,1 g ;
- troisième zone (intensité VI) : 0,0135 g.

Étant donné les rayons des différentes intensités, on peut déduire ce qui suit :

- dans la première zone d'influence (intensité VIII), outre le site, le seul ouvrage extérieur pouvant avoir une influence sur le niveau de la Meuse au droit de la centrale est le barrage d'Ampsin-Neuville, situé en aval. Sa rupture ferait descendre le niveau du fleuve à 64,45 m.

Sur la base des connaissances actuelles, des études complémentaires de résistance de cet ouvrage et des conséquences d'un séisme d'intensité VIII, il est considéré que le barrage d'Ampsin-Neuville résiste à un séisme de cette intensité.

De plus, il convient de noter que les conséquences de la rupture instantanée de ce barrage sont couvertes par le scénario de la perte de la source froide traité dans les chapitres suivants du présent rapport, notamment par l'utilisation de la prise d'eau profonde.

- dans la seconde zone d'influence, les ouvrages extérieurs au site pouvant avoir une influence sur le niveau de la Meuse sont des barrages situés en amont et en aval de la centrale. Sur base des connaissances actuelles de la résistance de ces ouvrages et des conséquences d'un séisme d'intensité VII, il est considéré que les barrages ne subissent pas de dégâts pouvant provoquer leur rupture. Le niveau d'intensité VII correspond en effet à des dégâts légers y compris aux constructions relativement vulnérables, ce qui est loin d'être le cas pour la structure de ce type de barrage.
- dans la troisième zone d'influence (intensité VI), les ouvrages ne sont pas influencés par un séisme de cette intensité. Aucun impact n'est donc considéré.

2.2.3.2. Sources d'inondation situées sur le site

Les conclusions du paragraphe 2.1.2.3. sont applicables à un séisme hors conception.

Dans ce cas, les équipements affectés sont les mêmes que ceux qui ont été reconnus sensibles au DBE. Paradoxalement, les conséquences seront très probablement inférieures : le réseau extérieur étant supposé perdu, les pompes CEC auront cessé de fonctionner.

Les équipements encore disponibles permettront de maintenir un refroidissement efficace et illimité dans le temps et donc d'assurer une mise à l'arrêt stable et contrôlée du réacteur.

2.2.3.3. Conclusion

En conclusion, un séisme très supérieur au DBE ne peut pas entraîner au niveau du site de Tihange d'inondation dépassant les limites de conception des installations. Aucune modification matérielle, procédurale ou organisationnelle n'est donc requise, autres que celles identifiées dans le chapitre 2.1.2.3.

3

INONDATION



3 Introduction

p. 90

3.1 Bases de conception

p. 92

3.1.1. Risque d'inondation du site par la Meuse

- 3.1.1.1. Crue de référence du site
- 3.1.1.2. Méthode d'évaluation du risque d'inondation du site
- 3.1.1.3. Adéquation de la base de dimensionnement vis-à-vis du risque d'inondation du site par la Meuse
- 3.1.1.4. Dispositions de protection du site vis-à-vis du risque d'inondation par la Meuse
- 3.1.1.5. Moyens mis en œuvre pour éviter l'inondation ou en limiter les conséquences
- 3.1.1.6. Évaluation de la conformité des dispositions de protection

3.1.2. Risque d'infiltration par remontée de la nappe phréatique

- 3.1.2.1. Caractérisation du risque de remontée de la nappe phréatique
- 3.1.2.2. Dispositions de protection contre le risque d'infiltration par la nappe phréatique

3.2 Évaluation des marges

p. 96

3.2.1. Mesures de protection prises pendant la phase d'avertissement d'une crue hors conception

- 3.2.1.1. Stratégie de réponse à la crue
- 3.2.1.2. Le processus d'alerte
- 3.2.1.3. Le Plan Interne d'Urgence (PIU)
- 3.2.1.4. Utilisation du CMU
- 3.2.1.5. Autonomie des moyens disponibles sur site

3.2.2. Description de la progression de l'inondation

3.2.3. Description des conséquences de l'inondation sur les équipements

3.2.4. Points faibles et effet falaise

- 3.2.4.1. Points faibles
- 3.2.4.2. Énumération des principaux effets falaise

3.2.5. Crue et conditions météorologiques extrêmes

- 3.2.5.1. Crue de référence et fortes pluies
- 3.2.5.2. Crue de référence avec vents forts et perte de l'alimentation électrique extérieure
- 3.2.5.3. Crue supérieure à la crue de référence, fortes pluies et perte de l'alimentation électrique extérieure

3.2.5.4. Crue supérieure à la crue de référence avec vents forts et perte de l'alimentation électrique extérieure

3.2.5.5. Crue supérieure à la crue de référence avec vents forts, fortes pluies et perte de l'alimentation électrique extérieure

3.2.6. Mesures qui peuvent être envisagées pour augmenter la robustesse du site

3.2.6.1. Améliorations matérielles

3.2.6.2. Améliorations procédurales

3.2.6.3. Améliorations de l'organisation

3

Introduction

La centrale de Tihange est implantée sur la rive droite de la Meuse, sur une plateforme horizontale située à 71,5 mètres d'altitude, soit deux mètres au-dessus du niveau régulé du fleuve.

Cette portion de Meuse est limitée en amont par le barrage d'Andenne-Seille et en aval par celui d'Ampsin-Neuville. L'accès se fait par la route d'État Liège-Huy, qui constitue la limite Sud du site (la Meuse étant la limite Nord), ou par les routes secondaires Huy-Hamoir et Liège-Dinant. Une route à grande circulation relie l'autoroute de Wallonie aux grands axes routiers de la rive droite de la Meuse (N684) et franchit la Meuse à Tihange. L'ensemble de ce réseau est situé à une altitude supérieure ou égale à celle du site de Tihange et il subsistera suffisamment de voies hors zone inondée (y compris lors des crues maximales envisageables) pour accéder au site (voir figure 1).

Figure 1

Les différentes zones altimétriques du site de Tihange



La zone rouge ne comporte aucun équipement ou bâtiment IPS.
La zone orange comporte la quasi-totalité des bâtiments IPS. Dans cette zone, les portes d'entrée des bâtiments sont à 71,5 m, soit 20 cm en moyenne au-dessus du sol asphalté. La zone verte se situe nettement plus haut que le reste du site, en moyenne de 2 m.

L'inondation du site pourrait essentiellement résulter d'une montée du niveau de la Meuse (crue ou rupture de barrage en amont).

Les crues remarquables de 1993 et 1995 n'ont eu aucune incidence sur le site, mais ont toutefois été prises en compte lors de la dernière **Révision Périodique de Sûreté** pour réévaluer la crue de référence du site. Cette crue correspond à une période de retour comprise entre 100 et 1000 ans. Il a été vérifié que la centrale de Tihange résiste à cette nouvelle crue de référence.

Conformément aux normes internationales, des études ont été réalisées afin de prendre en considération des crues allant jusqu'à une période de retour de 10000 ans.

Bien qu'elle n'ait pas été dimensionnée pour un tel événement, la centrale de Tihange, dans son état actuel, pourrait l'affronter sans risque d'endommagement du combustible grâce aux circuits de protection spécifiques (**CMU**) présents sur le site. C'est le principal enseignement de la présente Évaluation complémentaire de sûreté.

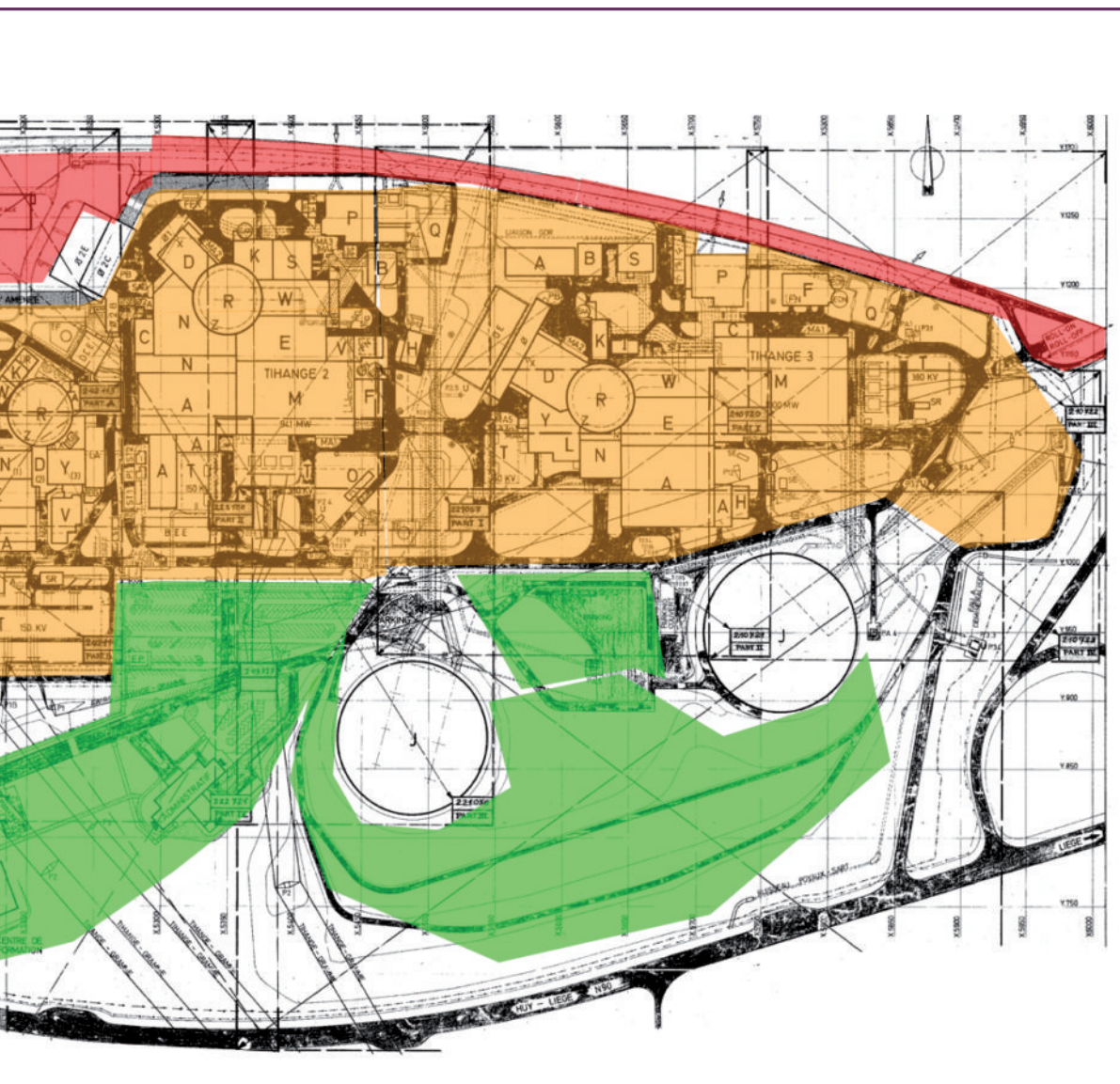
La mise en place d'un nouveau système de protection, composé de trois lignes de défense successives, est cependant d'ores et déjà à l'étude. Il s'agira de rendre le site non inondable en cas de crue décennale.

Révision Périodique de Sûreté

Les Révisions Périodiques de Sûreté en vigueur en Belgique réévaluent systématiquement la conception initiale des installations nucléaires. Ce processus d'amélioration continue prend en compte l'évolution internationale des connaissances, des normes de sûreté et du retour d'expérience.

Le circuit CMU (Circuit des Moyens Ultimes)

Constitué de pompes fixes ou mobiles, de tuyauteries et de vannes, le CMU est doté d'une alimentation électrique indépendante. Il protège la centrale contre une crue hors conception.



3.1

Bases de conception



La crue de référence est la crue la plus forte enregistrée historiquement en Meuse (en 1995), majorée de 20 %. Le débit du fleuve atteint alors 2 615 m³/s et une cote maximum de 71,30 mètres au niveau du site de Tihange.

La centrale de Tihange est protégée contre une telle crue par l'altitude de la plateforme sur laquelle elle est construite et la hauteur de ses protections périphériques (quais de Meuse et muret du canal d'amenée). Les unités restent au sec et fonctionnent normalement. Le site est toutefois placé en état de vigilance accrue, au titre du principe de précaution.

3.1.1. Risque d'inondation du site par la Meuse

3.1.1.1. Crue de référence du site

Le chapitre II du Rapport de Sûreté de l'unité 2 expose la base de conception relative à l'inondation. Les trois unités, situées sur la même plateforme, partagent la même base de conception à cet égard. Les sources d'inondation potentielles du site, identifiées lors de la conception, sont énumérées dans ce même document. Il s'agit :

- des phénomènes de crue sur le bassin versant de la Meuse ;
- de la rupture du barrage d'Andenne-Seille en amont du site de Tihange ;
- du mauvais fonctionnement du barrage aval d'Ampsin-Neuville.

L'analyse a pris en compte les situations présentant les plus fortes contraintes, tout en restant réaliste. Par exemple, la combinaison d'une crue importante avec la rupture du barrage d'Andenne-Seille n'a pas été retenue car, en cas de crue, les vannes des barrages sont grandes ouvertes afin d'évacuer le maximum de débit (la charge hydrodynamique est alors réduite et ne met pas en péril le barrage). Il faut rappeler ici que les barrages successifs établis sur la Meuse ont pour fonction essentielle de maintenir un niveau d'eau compatible avec la navigation, et non de créer des retenues d'eau. Ils ne provoquent d'ailleurs pas de différences de niveau importantes entre l'amont et l'aval en cas de crue.

Sur ces bases, la crue contre laquelle le site est protégé, dite **crue de référence**, correspond à un débit de Meuse de 2 615 m³/s, à comparer au débit moyen normal de 300 m³/s en hiver et 50 m³/s en été.

Dans cette situation, le niveau d'eau atteint 71,30 mètres (incertitude de 0,1 m incluse) au-dessus du niveau de la mer, contre 69,25 mètres en moyenne en situation normale (niveau régulé de la Meuse pour permettre la navigation).

3.1.1.2. Méthode d'évaluation du risque d'inondation du site

La base de conception d'origine a été fixée en se référant à la pratique utilisée dans le domaine du génie civil à l'époque pour le dimensionnement des ouvrages en Meuse. Elle stipule que : « les barrages et les digues de la Meuse dans le bief d'Andenne à Liège ont été aménagés pour pouvoir faire face au débit de 2 200 m³/s, débit de la crue de 1926 (1 862 m³/s) majoré de 20 % ». La crue de conception correspondait dès lors à un débit de Meuse de 2 200 m³/s, entraînant une montée des eaux jusqu'au niveau de 69,80 m.

À la suite d'importantes crues survenues en 1993 et 1995 (débit maximum de 2 179 m³/s), et dans le cadre de la Révision Périodique de Sûreté des centrales belges, les statistiques de crues ont été revues. La crue de référence pour le site de Tihange a été réévaluée, tout en conservant la même méthodologie qu'à l'origine. Elle correspond actuellement à la crue maximale historique (de 1995) majorée de 20 %, soit le débit de 2 615 m³/s (associé à un niveau d'eau de 71,30 m) annoncé ci-dessus.

Crue de conception

Crue contre laquelle le site était protégé à la conception. Le débit de crue valait 2 200 m³/s.

Crue de référence

Crue contre laquelle le site est protégé. La valeur de 2 615 m³/s est issue d'une réévaluation de la crue de conception dans le cadre de la dernière Révision Périodique de Sûreté.

Crue millénale

Crue de la Meuse dont la période de retour est de 1 000 ans, avec un intervalle de confiance de 70 %. Le débit de crue vaut 3 033 m³/s.

Crue décennale

Crue dont la période de retour est de 10 000 ans. On la dénomme aussi « crue millénale majorée », car elle a été définie comme valant la crue millénale avec un intervalle de confiance à 70 % majorée de 15 %. Le débit de crue vaut 3 488 m³/s.

3.1.1.3. Adéquation de la base de dimensionnement vis-à-vis du risque d'inondation du site par la Meuse

a) Évaluation de l'impact de la rupture du barrage d'Andenne-Seille, en amont du site de Tihange

Les études de conception du site ont pris en compte l'éventuelle rupture du barrage situé en amont, celui d'Andenne-Seille. L'onde résultante a été comparée à la crue de référence de la Meuse. Le Rapport de Sûreté de l'unité 2 indique ainsi que « Toute défaillance du barrage situé en amont du site n'aura aucune conséquence sur le fonctionnement des réacteurs du site de Tihange, l'onde de fluide étant suffisamment amortie à Tihange pour ne pas dépasser le niveau des berges ».

Par ailleurs, dans le cadre de la dernière Révision Périodique de Sûreté, l'Université de Liège a récemment réétudié l'impact de la rupture du barrage d'Andenne-Seille. Sur l'hypothèse d'une rupture survenant hors période de crue, alors que la Meuse est à son niveau moyen et qu'on suppose l'obstruction du barrage aval, cette nouvelle étude estime que la vague arrivera à Tihange 36 minutes après la rupture, et que le sommet de la vague atteindra le niveau de 70,64 m. Ce niveau reste très largement inférieur au niveau atteint par la crue de référence, ce qui confirme le caractère non dimensionnant de cet aléa.

b) Évaluation de l'impact d'un dysfonctionnement du barrage d'Ampsin-Neuville, en aval du site de Tihange

Les études de conception ont également écarté tout risque d'inondation du site de Tihange du fait d'un dysfonctionnement du barrage d'Ampsin-Neuville, situé en aval. Le Rapport de Sûreté indique que « L'inondation du site ne peut résulter du mauvais fonctionnement du barrage situé en aval du site, le barrage disposant d'une alimentation électrique de secours et chacun des organes régulateurs de débit pouvant, de plus, être manœuvré en l'absence d'énergie électrique. »

c) Conclusion sur l'adéquation de la base de conception

Aucun point du faite des ouvrages de protection du site, qu'il s'agisse des berges maçonnées du fleuve ou des murs du canal d'amenée, n'est situé à un niveau inférieur à 71,35 m. Le site est donc actuellement protégé :

- a) contre la crue de référence caractérisée par un niveau d'eau de 71,30 m (y compris les remontées par le réseau d'égouttage et la marge d'incertitude) ;
- b) contre la rupture du barrage amont d'Andenne-Seille combinée à l'obstruction du barrage aval, dont l'onde de submersion induirait un niveau d'eau inférieur à celui de la crue de référence.

Par ailleurs, dans le contexte des Révisions Périodiques de Sûreté, l'évolution de la réglementation nucléaire a conduit à adopter, lors de la dernière Révision Périodique de Sûreté, une nouvelle méthodologie pour déterminer le niveau de la Meuse en fonction de la période de retour.

Le niveau de la Meuse à la hauteur du site de Tihange a été déterminé jusqu'à une crue de période de retour de 10 000 ans (crue dite décamillénale) : une des conclusions est que le site de Tihange est actuellement protégé, de par sa conception, contre une crue de référence dont la période de retour théorique se compte en siècles (entre 100 et 1 000 ans).

Aucune source historique connue ne mentionne toutefois une crue de cette ampleur.

Il faut noter qu'un tel niveau ne pourrait résulter que d'un concours de circonstances exceptionnel, conjuguant une rapide fonte des neiges et une longue période de pluies abondantes. De plus, ce phénomène extrême est prévisible.

Cependant, il a été décidé d'adopter la crue décamillénale comme nouvelle base de conception de la centrale de Tihange, afin de se conformer aux standards internationaux. Le renforcement des lignes de défense a donc été mis à l'étude, et certaines des modifications prévues sont d'ores et déjà effectuées.

3.1.1.4. Dispositions de protection du site vis-à-vis du risque d'inondation par la Meuse

a) Objectif des dispositions de protection

L'objectif de la protection contre la crue de référence est de maintenir le site au sec. Ainsi, en cas de crue inférieure ou égale à la crue de référence, aucun équipement de l'installation n'est affecté. Tous les systèmes, structures et composants nécessaires pour assurer la mise à l'arrêt stable et contrôlé des unités restent disponibles.

b) Dispositions générales de conception

La protection du site de Tihange est assurée par la hauteur des berges maçonnées du fleuve et de celles du canal d'amenée. Ce canal est protégé du côté site par des murs surmontés d'un muret fait de blocs de béton ancrés sismiquement. Les berges du canal d'amenée ont en particulier été rehaussées dans le cadre de la dernière Révision Périodique de Sûreté pour pouvoir faire face à la nouvelle crue de référence (niveau réévalué à 71,30 m). Aucun dispositif mobile ne doit être placé pour garantir cette protection. Celle-ci est opérationnelle en permanence sans qu'une intervention humaine ne soit nécessaire.

c) Cas particulier de la protection des prises d'eau dans la Meuse

Les équipements des stations de pompage assurant les prises d'eau brute et les rejets dans la Meuse sont localisés à des hauteurs telles qu'ils ne risquent pas l'inondation en cas de crue de référence.

Les prises d'eau sont munies de systèmes de dégrillage et de filtration autonettoyants qui limitent les risques de colmatage, plus importants en situation de crue puisque le fleuve charrie alors divers déchets et épaves. Les opérateurs sont prévenus par alarme dès le début d'engorgement des filtres des pompes d'eau brute, et peuvent donc intervenir. Comme aucun équipement n'est perdu dans le cadre d'une crue de référence, les systèmes de nettoyage restent pleinement opérationnels. Par ailleurs, des clapets de contournement permettent de continuer à alimenter ces circuits avec de l'eau non filtrée en cas de colmatage important.

d) Cas particulier de la protection vis-à-vis d'une situation de perte des alimentations électriques externes en cas de crue de référence

Chaque unité de Tihange dispose d'alimentations électriques internes de secours, redondantes (*voir figure 12, chapitre 1, p. 37*), situées sur la plateforme du site, et donc protégées contre la crue de référence. Ces sources internes suffisent à alimenter tous les systèmes nécessaires à la mise à l'arrêt stable et contrôlé des unités.

Bien que le réseau électrique extérieur résiste sans dommage à ce type de crue, le scénario d'une crue de référence combinée à une perte d'alimentation électrique extérieure a été envisagé à la demande des Autorités de Sûreté. Une telle situation n'aurait aucun impact sur le site, qui utiliserait alors ses alimentations électriques internes de secours.

3.1.1.5. Moyens mis en œuvre pour éviter l'inondation ou en limiter les conséquences

a) Dispositions de vigilance en situation de crue

Compte tenu de la conception même du site, qui assure passivement son maintien au sec en cas de survenue d'une crue de référence, aucune action spécifique n'est requise pour préserver les installations de l'inondation.

Toutefois, au titre du principe de précaution, des mesures préventives existent, décrites ci-après.

Tout d'abord, lorsque la Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques (DMV), aussi dénommée le Service d'études hydrologiques de la région Wallonne (SETHY), constate une prévision de débit de Meuse supérieure à 1500 m³/s, ce qui se produit environ une fois tous les deux ans, il passe en situation d'alerte et prévient le site de Tihange.

Dès lors, le cadre d'astreinte conduite de l'unité 2 est chargé de maintenir une communication régulière avec le SETHY pour se tenir informé de l'évolution de la situation. En parallèle, il informe les deux autres unités et leur signale le passage en état d'alerte par rapport au risque d'inondation.

Sur chaque unité, le cadre d'astreinte conduite lance des actions spécifiques de surveillance de l'état de son unité :

- des rondes une fois par quart aux points les plus sensibles de l'installation (station de pompage, zone située le long du canal d'amenée, visite des étages enterrés des bâtiments autour de l'îlot nucléaire, etc.);
- l'examen renforcé d'une série de paramètres prédéfinis et disponibles sur le tableau synoptique « inondation » pour l'unité 1 ou sur le calculateur d'exploitation pour les unités 2 et 3, afin de suivre notamment les démarrages de pompes d'exhaure et les alarmes éventuelles des locaux où les pompes ne suffiraient pas à évacuer l'eau;
- apporter une attention particulière aux mesures instantanées de débit de la Meuse, disponibles en salle de commande.

b) Dispositions relatives à l'isolement du site en cas de crue de référence

En cas de crue de référence, le réseau routier autour du site reste opérationnel et les liaisons vers les

principales villes ou ressources externes (services d'urgence ou d'incendie) restent libres. En particulier, une route à quatre voies permettant un charroi important reste disponible.

c) Moyens particuliers disponibles sur site

Si une infiltration d'eau venait à se produire malgré la conception du site, et au cas où les pompes d'exhaure fixes ne suffiraient pas localement à l'évacuer, le site utiliserait des moyens complémentaires dont la disponibilité est toujours assurée. Il s'agit :

- d'une quarantaine de pompes immergeables de puissances variées ;
- d'une installation de remplissage rapide de sacs de sable ;
- d'un stock de sable pour environ 500 sacs, dont 150 sont déjà remplis et utilisables.

Aucun équipement provenant de l'extérieur n'est donc nécessaire pour répondre à une crue de référence.

Certains équipements actifs, comme les pompes immergeables, sont utilisés en arrêt de tranche à des fins opérationnelles. Après la fin de l'arrêt de tranche, une dizaine de pompes est systématiquement renvoyée pour révision chez le fabricant avec lequel la centrale de Tihange a un contrat de maintenance. L'ensemble de ces opérations garantit leur bon fonctionnement.

3.1.1.6. Évaluation de la conformité des dispositions de protection

a) Détection des non-conformités

Afin de déceler d'éventuelles non-conformités, les équipements protégeant le site sont inspectés régulièrement :

- le muret placé sur la berge sud du canal d'amenée, constitué de blocs de béton, fait l'objet d'un plan de maintenance afin de s'assurer qu'il puisse jouer pleinement son rôle en cas de crue ;
- les murs de quai du fleuve sont la propriété de la Région Wallonne qui les entretient.

b) Recensement et traitement des éventuelles non-conformités détectées

À la suite de l'accident de la centrale de Fukushima, une inspection complète des installations protégeant le site vis-à-vis de l'inondation de référence a été réalisée, sur base du WANO SOER 2011-02. Aucune non-conformité n'a été identifiée à cette occasion. Aucune action corrective spécifique n'a été nécessaire.

3.1.2. Risque d'infiltration par remontée de la nappe phréatique

3.1.2.1. Caractérisation du risque de remontée de la nappe phréatique

Le niveau de la nappe phréatique est situé à 67,5 m en moyenne, soit environ deux mètres en dessous du niveau régulé de la Meuse (69,25 m). Au bord de la Meuse, la faible perméabilité des alluvions empêche la transmission immédiate à la nappe des fluctuations du niveau du fleuve. Du fait de cet « effet retard », une remontée rapide et importante de la nappe est à exclure, même après une période de crue. De plus, le site lui-même est protégé des infiltrations rapides par une couche limoneuse en surface et le recouvrement d'une bonne partie de sa superficie par de l'asphalte.

3.1.2.2. Dispositions de protection contre le risque d'infiltration par la nappe phréatique

Lors de la construction des installations, des dispositions de protection ont été prises contre le risque d'infiltration par la nappe phréatique.

Sur l'unité 1, pour les parties des bâtiments situées dans le sol, ainsi que pour le radier, les parois extérieures de béton ont été intégralement recouvertes d'un enduit bitumeux, de manière à renforcer l'étanchéité. Sur les unités 2 et 3, une membrane souple d'étanchéité de type « Butyl », de 2 mm d'épaisseur, a été disposée sur les surfaces en contact avec la terre de tous les bâtiments et ouvrages de classe 1 sismique, à l'exception de la station de pompage. Cette membrane étanche enveloppe les parois en sous-sol. L'étanchéité des bâtiments est donc assurée vis-à-vis de la nappe phréatique.

Par ailleurs, le niveau de la nappe est régulièrement mesuré, notamment à l'occasion des essais ASME trimestriels des pompes de puits, ce qui permet de suivre son évolution, bien que celle-ci soit très lente. Par ailleurs, tous les bâtiments IPS immergés sont munis de puisards avec des pompes de relevage, quotidiennement inspectés lors des rondes effectuées par les agents de conduite.

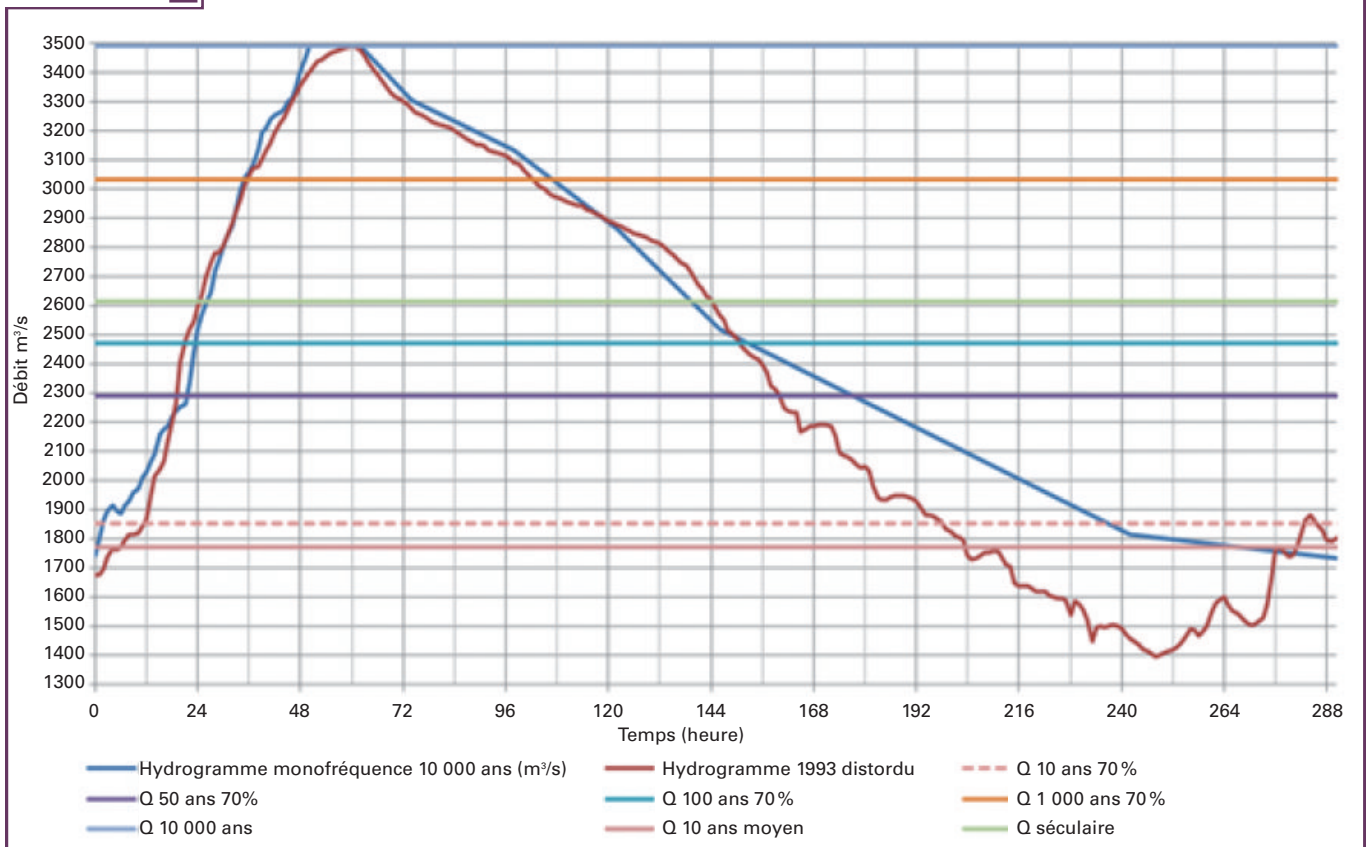
3.2 Évaluation des marges

➤ Ce chapitre évalue les conséquences d'une crue supérieure à la crue de référence, en prenant comme base de comparaison une crue décennale. La sensibilité à des aléas météorologiques extrêmes, cumulés à l'inondation, est également évaluée. Durant le délai entre l'alerte et le dépassement de la crue de référence, des moyens de protection non conventionnels sont mis en place pour faire face à l'inondation progressive du site, de manière à maintenir les unités en état sûr et contrôlé. Sur la base des points faibles identifiés, il est recommandé de créer des lignes de défenses supplémentaires vis-à-vis d'une inondation décennale.

Comme indiqué dans les documents de conception, et comme confirmé dans l'analyse des bases de conception, seule une crue de la Meuse peut mener à une inondation importante du site. Une crue supérieure à la crue de référence serait nécessairement liée à une longue période de fortes pluies et d'importantes fontes de neige. Cela permet d'anticiper les actions de protection grâce aux dispositions de vigilance prises en situation de crue de la Meuse. Certains événements autres que des crues, comme des conditions météorologiques extrêmes combinées à une crue de la Meuse seront abordés plus loin.

Hydrogramme statistique de la Meuse.

Figure 2 ↘



En ce qui concerne la réponse à une inondation au-delà de la crue de référence, la centrale de Tihange a opté pour une stratégie de réponse unique, ne faisant pas de distinction entre une crue légèrement supérieure à la crue de référence et la crue décennale qui, elle, recouvrirait le site d'environ 1,70 m d'eau par endroits. Le faible laps de temps entre le moment où le débit atteint celui de la crue de référence (qui n'entraîne aucun dégât) et celui où les dommages rendent inopérantes les fonctions classées ne permet d'ailleurs pas de stratégie en plusieurs phases.

Dès la prévision d'une crue dépassant la crue de référence, les moyens CMU sont déployés en prévention de la perte des fonctions classées vulnérables à une crue décennale. Pour des crues comprises entre la crue de référence et la crue décennale, seule une partie de ces installations (une seule unité par exemple) sera affectée.

Ces moyens et l'organisation pour les supporter sont dimensionnés pour être autonomes une quinzaine de jours. En effet, comme l'indique la figure 2 (issue d'une étude de l'Université de Liège), dans le cas d'une crue décennale, les eaux resteraient au-dessus du niveau de la crue de référence durant environ cinq jours avant de redescendre. Il faut ensuite laisser quelques jours aux équipes de maintenance pour restaurer les fonctions de sûretés de conception.

Toute l'organisation mise en place a pour but de garantir le refroidissement du combustible.

3.2.1. Mesures de protection prises pendant la phase d'avertissement d'une crue hors conception

3.2.1.1. Stratégie de réponse à la crue

La stratégie de réponse à une crue hors conception est d'atteindre un des deux états de replis pouvant être stabilisés avant que les eaux ne commencent à envahir le site. Les états de repli sont :

- l'arrêt à froid qui se caractérise comme suit :
 - la cuve du réacteur est ouverte ;
 - les piscines BAN-D et BR sont remplies et en communication *via* le tube de transfert, ce qui augmente considérablement leur inertie thermique.
- l'arrêt intermédiaire diphasique qui se caractérise comme suit :
 - une pression de 10 bars et une température comprise entre 120 °C et 140 °C règnent dans le circuit primaire. Le pressuriseur est partiellement rempli (environ 75 %) ;
 - tous les compartiments des piscines BAN-D sont remplis (y compris celui de transfert et le cercueil), mais la piscine BR est vide (le tube de transfert est fermé) ;
 - les GV ont été dépressurisés par l'ouverture du contournement à l'atmosphère. Ils ont été remplis au maximum pour, là aussi, maximiser l'inertie thermique.

La crue peut également survenir lorsqu'une unité est en arrêt de tranche. Or, durant cette période, il arrive que l'unité soit dans un état tel que les moyens du CMU ne suffisent pas à assurer le refroidissement du cœur – en particulier lorsque les générateurs de vapeur ne sont plus opérationnels.

Dès lors, en cours d'arrêt de tranche, les procédures d'exploitation normale prévoient des points d'attention vis-à-vis du risque d'inondation avant toute intervention (par exemple le début de fermeture de la cuve, le début de la vidange du CRP, etc.) qui demande de se placer dans un de ces états intermédiaires. Le service Exploitation doit s'assurer qu'il n'existe aucun risque de crue pour toute la durée du mode de fonctionnement en question, avant d'en autoriser l'accès. De plus, l'évolution du débit de Meuse sera surveillée durant cette période.

3.2.1.2. Le processus d'alerte

Le SETHY – qui utilise un modèle autorégressif basé sur les prévisions météorologiques – peut fournir des prévisions de débit jusqu'à plusieurs jours à l'avance, prévisions dont le degré d'incertitude croît avec le délai. Bien que déjà très précises, les prévisions à douze heures restent entachées d'une légère incertitude. En revanche, les prévisions à huit heures, qui ne dépendent que des pluies déjà tombées, sont sûres à 99 %.

Lorsque le SETHY constate un débit Meuse supérieur à 1 500 m³/s, il passe en situation d'alerte et prévient le site de Tihange.

Dès lors, le cadre d'astreinte conduite de l'unité 2 est chargé de maintenir une communication régulière avec le SETHY pour se tenir informé de l'évolution de la situation. En parallèle, il informe les deux autres unités et leur signale le passage en état d'alerte par rapport au risque d'inondation. Sur chaque unité, le cadre d'astreinte conduite lance des actions spécifiques de surveillance de l'état de son unité :

- des rondes une fois par quart aux points les plus sensibles de l'installation (station de pompage, zone située le long du canal d'amenée, visite des étages enterrés des bâtiments autour de l'îlot nucléaire, etc.);
- l'examen renforcé d'une série de paramètres prédéfinis et disponibles sur le calculateur d'exploitation (pour les unités 2 et 3) ou le panneau synoptique « Inondation » (pour l'unité 1), afin de suivre notamment les démarrages de pompes d'exhaure et les alarmes éventuelles des locaux où les pompes ne suffiraient pas à évacuer l'eau ;
- le suivi renforcé des mesures de débit de la Meuse, disponibles en salle de commande.

3.2.1.3. Le Plan Interne d'Urgence (PIU)

En communication directe avec le SETHY, l'astreinte est informée de l'évolution attendue du débit du fleuve. Dès qu'une prévision de débit de 2500 m³/s est signalée, le cadre d'astreinte de l'unité 2 fait activer le Plan Interne d'Urgence (PIU), rappelant par ce biais l'équipe de crise.

Cette dernière est chargée, sur la base des prévisions du SETHY et de la dynamique de crue prévue, d'initier l'arrêt des unités et la mise en œuvre de tous les moyens prévus pour placer la centrale en état de repli et de déployer le CMU.

Dix heures sont nécessaires pour mettre à l'arrêt les unités et les amener dans l'état de repli le plus approprié. La décision de mise à l'arrêt est donc prise avant ce délai, ce qui est compatible avec la précision des prévisions.

3.2.1.4. Utilisation du CMU

Lorsque les équipements conventionnels sont rendus indisponibles par l'inondation, le circuit CMU – préinstallé durant le préavis – de chaque unité est utilisé pour stabiliser les paramètres physiques de l'état de repli.

Des procédures destinées aux opérateurs des services de conduite et de maintenance décrivent les opérations à réaliser.

Le personnel technique d'astreinte suffit à l'installer dans les délais impartis. Les équipes de conduite présentes sur le site (dont l'effectif minimum est imposé par les Spécifications Techniques d'Exploitation) sont suffisamment fournies pour effectuer les opérations de passage en état de repli.

L'arrêt des centrales, organisé au minimum dix heures avant le début de l'inondation progressive du site, réduit fortement l'énergie résiduelle à évacuer. Lorsque l'eau arrive sur le site, il reste au maximum 20 MW de puissance thermique à évacuer sur chaque réacteur, soit moins de 1 % de la puissance nominale. Le CMU peut alors assurer le refroidissement continu des trois réacteurs et de l'ensemble du combustible présent en piscine, quelle que soit la combinaison des états de repli, cités ci-dessus, de chaque unité.

Les moyens du CMU (pour la plupart mobiles), préinstallés dans la phase de préavis, ne sont en fait mis en service qu'au moment de la défaillance réelle des équipements classés, afin de ne pas se priver de ces derniers alors qu'ils sont encore fonctionnels. Les composants du CMU sont placés à des niveaux suffisants pour être protégés d'une inondation décimillimétrale, avec une marge de plus de deux mètres.

Le temps nécessaire pour connecter le CMU aux circuits, après la défaillance des équipements fixes, n'a aucun impact sur le refroidissement. En effet, l'inertie thermique, due aux volumes d'eau présents dans les GV et les piscines, assure le refroidissement pendant ces opérations.

Le temps de connexion nécessaire est de 1 heure, alors que le temps maximum disponible est de :

- 11 à 14 heures (selon l'unité) sans alimentation en eau des GV. Le cœur reste alors refroidi par l'évaporation



À savoir

L'inertie thermique des piscines de désactivation des unités est différente de celle disponible en cas de perte complète des alimentations électriques.

En effet, lors de la mise en état de repli des unités, le volume d'eau contenu en piscine est maximisé par remplissage afin de bénéficier d'une inertie thermique aussi grande que possible

progressive des dizaines de m³ d'eau présents dans les GV. En effet, dès que le PIU est déclenché, les GV sont remplis au maximum: ils contiennent alors 70 m³ d'eau au lieu de 40 m³ en régime de fonctionnement normal;

- 6 jours minimum avant découverture des assemblages de combustible pour l'ensemble des unités (et plus de 20 jours pour le DE) sans alimentation en eau pour les piscines de désactivation. Ce chiffre est enveloppe de toutes les unités pour l'ensemble des états de repli mentionnés. Là encore, une fois le PIU enclenché, tous les compartiments des piscines ont été remplis au maximum pour maximiser ces délais.

Les accès aux bâtiments et aux équipements nécessaires restent possibles pendant l'inondation. La circulation entre les unités se fait au moyen de barques. Dans les unités, la majorité des déplacements se fait à pied, que ce soit dans les bâtiments, par des passerelles installées à cet effet à l'extérieur ou par les toits.

3.2.1.5. Autonomie des moyens disponibles sur site

Une fois le site inondé, aucune assistance extérieure n'est nécessaire à court terme.

En effet, le CMU peut maintenir les unités en état stable et contrôlé pendant plus de quinze jours sans apports externes (de courant, de fuel, d'eau, d'huile...). Ceci permet de couvrir la période de l'inondation (évaluée à 5 jours par l'Université de Liège), de même qu'une longue période post-inondation. Celle-ci laisse largement le temps aux services de maintenance d'apporter et d'installer les moyens nécessaires pour rétablir durablement les fonctions essentielles.

3.2.2. Description de la progression de l'inondation

Toutes les installations classées participant au maintien en état stable et contrôlé des trois unités sont situées quasiment à la même altitude de 71,50 m. Toutefois, le niveau de la Meuse ne constitue pas un critère adéquat pour prévoir l'étendue de la zone touchée. Cela dépend du débit du fleuve car, en situation de crue, le niveau du fleuve en amont du site est supérieur de 0,5 m au niveau en aval. Dès lors, une bonne partie de l'eau qui pénètre sur la plateforme par l'amont en ressort vers la Meuse par les points bas du site, sans avoir pu atteindre une hauteur élevée sur la plateforme.

L'étendue de la zone touchée par l'eau va donc dépendre du débit en Meuse. Plus ce dernier sera élevé, plus la surface atteinte du site sera importante. L'unité 1, située le plus en amont, sera la première unité touchée, suivie de l'unité 2, puis de l'unité 3.

À la demande de l'exploitant, l'Université de Liège a réalisé une étude combinant le débit en Meuse, le niveau d'eau qui en découle et la topographie du site, afin de modéliser les écoulements d'eau sur la plateforme.

3.2.3. Description des conséquences de l'inondation sur les équipements

L'analyse des conséquences est basée sur la hauteur d'eau atteinte aux différents endroits du site et, pour chaque localisation, sur les équipements présents à cet endroit et susceptibles d'être touchés. Tous les équipements pouvant contribuer au refroidissement du combustible en cœur ou en piscine sont examinés.

Cette analyse ne dépend pas de l'état de fonctionnement ou d'arrêt des unités. Toutefois, ce critère sera précisé chaque fois qu'il interviendra. Le scénario ci-dessous retrace l'évolution de la situation sur le site au fur et à mesure de l'augmentation du débit du fleuve.

Les fonctions de sûreté que sont le confinement de l'enceinte et le maintien de la sous-criticité du cœur sont assurées pour les trois unités par la mise en état de repli. Une fois dans cet état, elles ne requièrent plus d'action supplémentaire pour être maintenues.

Dès que le débit de Meuse dépasse 2615 m³/s, l'eau pénètre sur le site sans conséquence directe puisqu'aucun bâtiment IPS n'est touché: l'eau reste cantonnée à la zone nord du canal d'amenée. Il faut une augmentation d'environ 200 m³/s, soit un débit de 2800 m³/s, pour commencer à mettre en péril les alimentations électriques de secours de l'unité 1 et provoquer sur l'unité 2 la perte des pompes

CEU de Meuse et de puits. Le refroidissement des GV (ou du RRA en arrêt de tranche) n'est pas indisponible pour autant car il reste assuré par les équipements GDS et CEB-CRI-EAA-EAS, encore au sec. Vers 2800 m³/s, l'unité 1 est totalement entourée d'eau. Tous les bâtiments de l'unité, à l'exception du BR, sont inondés. Les circuits classés assurant le refroidissement des piscines sont hors d'usage, de même que le RRA (c'est le CMU qui prend le relais). La TPA EAS reste fonctionnelle (la pompe est sur un socle).

La récurrence d'un tel débit vaut environ 400 ans.

En parallèle, l'eau commence à s'infiltrer par la porte d'entrée du BAN-D de l'unité 2. Le débit entrant est encore très réduit, et peut être endigué par des sacs de sable et rejeté à l'extérieur par pompage. L'éventuel surplus ruisselle au niveau inférieur par les avaloirs et rejoint le puisard du fond du bâtiment, dont les pompes restent pleinement fonctionnelles.

L'unité 3 reste au sec car le bassin de rejet de l'unité 2 constitue une connexion avec la Meuse, dont le niveau est inférieur à 71,25 m à cet endroit.

À 2900 m³/s, débit dont l'occurrence avoisine les 600 ans, la TPA EAS de l'unité 1 est perdue. Le CMU alimente seul les GV.

Les parties inférieures du BUS de l'unité 2 sont inondées et les fonctions de second niveau qui lui sont associées sont perdues. Les étages enterrés des BAN et l'EA sont noyés, et la piscine de désactivation ne peut plus être refroidie par le circuit CTP (les pompes sont noyées). Même si la TPA EAA reste hors d'eau, des vannes d'isolement vapeur et/ou eau peuvent avoir été fermées par des ordres intempetifs provenant du CPW lors de son inondation. Il reste possible d'ouvrir « manuellement » les vannes (à partir du BUS) et de conserver la fonction de refroidissement des GV.

Si l'unité 2 était en arrêt de tranche avant la survenance de la crue, les GV ne sont plus le moyen de refroidissement et ce sont alors les moyens mobiles d'appoint d'eau à la piscine qui assurent la stabilisation à 100 °C du circuit primaire.

Sur l'unité 3, une lame d'eau commence à pénétrer dans le BAN-N par l'arrière de l'unité. Elle provoque une infiltration d'eau vers une des trois prises d'air du BUS (via le caniveau la reliant au bâtiment de stockage de gazole d'ultime secours, dit bâtiment O). Cette prise d'air est munie d'un clapet d'isolement qui sera fermé lors de la mise en place du CMU pour éviter le noyage du BUS de l'unité 3.

À 3000 m³/s, les derniers équipements classés de l'unité 2 sont perdus. Seuls les équipements du CMU restent en service pour assurer le refroidissement du cœur.

La période de retour d'un débit de cet ordre est d'environ 900 ans.

Sur l'unité 3, les BAN sont noyés. Seuls les GDS et les pompes CEB restent opérationnels, alimentant l'instrumentation et une partie des équipements en 380 V. Si l'unité est en arrêt intermédiaire refroidie par les générateurs de vapeur, cela suffit à maintenir le fonctionnement de la TPA EAA et son alimentation en eau par le CEB, et donc à refroidir le cœur. Si elle est en arrêt à froid, le RRA n'assure plus le refroidissement du cœur et le CMU prend le relais par appoint d'eau aux piscines.


Au-delà de 3300 m³/s, plus aucune fonction classée n'est opérationnelle sur les trois unités même si les alimentations extérieures de l'unité 3 restent *a priori* disponibles (les points sensibles sont un mètre au-dessus du sol). Finalement, en situation de crue décennale, tous les tableaux d'alimentation électriques sont perdus par inondation, ou à cause de l'activation des protections par les courts-circuits dus à l'eau. Les groupes Diesel des trois unités sont tous noyés (GDS, GDR, GDU et DUR). Seules les batteries du premier niveau (et celles du second niveau à Tihange 1) restent disponibles pour les trois unités.


Les tableaux 1 et 2 repris aux pages suivantes résument l'évolution de la disponibilité des moyens de refroidissement (piscines et cœur) pour les trois unités au fur et à mesure de l'augmentation de débit. Ces tableaux peuvent être mis en parallèle. On verra ainsi que, pour un même débit, le niveau d'eau est différent sur chaque unité.

Tableau 1 

Synthèse des effets de l'inondation sur l'unité 1

Dans les colonnes « Refroidissement » figurent l'ensemble des moyens encore fonctionnels pour refroidir soit la piscine de désactivation, soit le combustible présent dans le cœur. Ces fonctions sont successivement perdues avec la montée des eaux. Pour le refroidissement du cœur, le CTP est mentionné uniquement pour les périodes d'arrêt de tranche.

 Au moins 2 moyens de refroidissement disponibles

 Le CMU assure seul le refroidissement du combustible

UNITÉ 1				
Débit Meuse (m³/s)	Niveau d'eau (m)	Conséquences	Refroidissement piscine	Refroidissement cœur
2623	< + 71	Flaques sans infiltration	<ul style="list-style-type: none"> • Pompes CTP <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - Ventilation - Eau de nappe sur CTP • Pompe P04Bd • EDD par appoint • CAB par appoint • Appoint gravitaire par B01Bi • EDN par appoint • CEI normal par appoint • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - Eau de nappe sur CTP - P04Bd en appoint - Ventilation - MU-CEI par appoint • RRA <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur RRA - Eau de nappe sur RRA - ISBP en secours RRA • CCV <ul style="list-style-type: none"> - Appoint (CAB-EDD) - PIS • IS + gavé-ouvert <ul style="list-style-type: none"> - ISHP - ISBP + appoint gravitaire - CAE en secours ISBP • GV (+CVD atmosphère) <ul style="list-style-type: none"> - par EAN - par TPS/MPS EAS <ul style="list-style-type: none"> CEE sur EAS EDN sur EAS Eau de nappe sur EAS CEB sur EAS CEI normal sur EAS - CMU par appoint GV basse pression
2628	< + 71,25	Flaques et noyage bâtiment SGV (pas de fonction de sûreté impactée)	<ul style="list-style-type: none"> • Pompes CTP <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - Ventilation - Eau de nappe sur CTP • Pompe P04Bd • EDD par appoint • CAB par appoint • Appoint gravitaire par B01Bi • EDN par appoint • CEI normal par appoint • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - Eau de nappe sur CTP - P04Bd en appoint - Ventilation - CMU-CEI par appoint • RRA <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur RRA - Eau de nappe sur RRA - ISBP en secours RRA • CCV <ul style="list-style-type: none"> - Appoint (CAB-EDD) - PIS • IS + gavé-ouvert <ul style="list-style-type: none"> - ISHP - ISBP + appoint gravitaire - CAE en secours ISBP • GV (+CVD atmosphère) <ul style="list-style-type: none"> - par EAN - par TPS/MPS EAS <ul style="list-style-type: none"> CEE sur EAS EDN sur EAS Eau de nappe sur EAS CEB sur EAS CEI normal sur EAS - CMU par appoint GV basse pression

3 INONDATION

UNITÉ 1				
Débit Meuse (m³/s)	Niveau d'eau (m)	Conséquences	Refroidissement piscine	Refroidissement cœur
2705	< + 71,50	Poste haute tension inondé sans perte de matériel	<ul style="list-style-type: none"> • Pompes CTP <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - Ventilation - Eau de nappe sur CTP • Pompe P04Bd • EDD par appoint • CAB par appoint • Appoint gravitaire par B01Bi • EDN par appoint • CEI normal par appoint • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - Eau de nappe sur CTP - P04Bd en appoint - Ventilation - CMU-CEI par appoint • RRA <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur RRA - Eau de nappe sur RRA - ISBP en secours RRA • CCV <ul style="list-style-type: none"> - Appoint (CAB-EDD) - PIS • IS + gavé-ouvert <ul style="list-style-type: none"> - ISHP - ISBP + appoint gravitaire - CAE en secours ISBP • GV (+ CVD atmosphère) <ul style="list-style-type: none"> - par EAN - par TPS/MPS EAS <ul style="list-style-type: none"> CEE sur EAS EDN sur EAS Eau de nappe sur EAS CEB sur EAS CEI normal sur EAS - CMU par appoint GV basse pression
2795	> + 71,50	Unité 1 entourée d'eau, noyage de la station de pompage et perte des fonctions CEB-CRI-GDS, noyage des BAN avec pertes des fonctions CIS-CAE salle de machine inondée. GDS perdus.	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation <ul style="list-style-type: none"> - CMU par appoint - EDD par appoint - CAB par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - Évaporation - CMU-CEI par appoint • GV (+ CVD atmosphère) <ul style="list-style-type: none"> - par TPS EAS <ul style="list-style-type: none"> CEE sur EAS - CMU par appoint GV basse pression
2887	> + 71,50	Perte de la TPS EAS	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation <ul style="list-style-type: none"> - CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - Évaporation • CMU-CEI par appoint <ul style="list-style-type: none"> - GV (+ CVD atmosphère) - CMU par appoint GV basse pression CEE sur EAS
3000	> + 71,75	Plus d'évolution	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation <ul style="list-style-type: none"> - CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - Évaporation - CMU-CEI par appoint • GV (+ CVD atmosphère) <ul style="list-style-type: none"> - CMU par appoint GV basse pression CEE sur EAS
3272	> + 72,25	Plus d'évolution	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation <ul style="list-style-type: none"> - CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - Évaporation - CMU-CEI par appoint • GV (+ CVD atmosphère) <ul style="list-style-type: none"> - CMU par appoint GV basse pression
3480	> + 72,25	Plus d'évolution	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation <ul style="list-style-type: none"> - CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - Évaporation - CMU-CEI par appoint • GV (+ CVD atmosphère) <ul style="list-style-type: none"> - CMU par appoint GV basse pression

Tableau 2 ↘

Tableau de synthèse des effets de l'inondation sur les unités 2 et 3

Dans les colonnes « Refroidissement » figurent l'ensemble des moyens encore fonctionnels pour refroidir soit la piscine de désactivation, soit le combustible présent dans le cœur. Ces fonctions sont successivement perdues avec la montée des eaux. Pour le refroidissement du cœur, le CTP est mentionné uniquement pour les périodes d'arrêt de tranche.

 Au moins 2 moyens de refroidissement disponibles

 Le CMU assure seul le refroidissement du combustible

UNITÉ 2				
Débit Meuse (m ³ /s)	Niveau d'eau (m)	Conséquences	Refroidissement piscine	Refroidissement cœur
2623	< + 71	RAS	<ul style="list-style-type: none"> • Pompes CTP <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP - CMU par appoint • RRA <ul style="list-style-type: none"> - CRU sur RRA - CRI sur RRA • GV <ul style="list-style-type: none"> - par EAN - par EAA <ul style="list-style-type: none"> CEB sur EAA EDN sur EAA - par AUG <ul style="list-style-type: none"> EDN sur AUG CEU sur AUG - CMU par appoint GV
2628	< + 71,25	Flaques localement sans effets	<ul style="list-style-type: none"> • Pompes CTP <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP - CMU par appoint • RRA <ul style="list-style-type: none"> - CRU sur RRA - CRI sur RRA • GV <ul style="list-style-type: none"> - par EAN - par EAA <ul style="list-style-type: none"> CEB sur EAA EDN sur EAA - par AUG <ul style="list-style-type: none"> EDN sur AUG CEU sur AUG - CMU par appoint GV
2705	< + 71,50	Noyage de la station de pompage et des pompes CEU de Meuse	<ul style="list-style-type: none"> • Pompes CTP <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP - CMU par appoint • RRA <ul style="list-style-type: none"> - CRU sur RRA - CRI sur RRA • GV <ul style="list-style-type: none"> - par EAN - par EAA <ul style="list-style-type: none"> CEB sur EAA EDN sur EAA - par AUG <ul style="list-style-type: none"> EDN sur AUG CEU sur AUG - CMU par appoint GV

UNITÉ 3

Débit Meuse (m³/s)	Niveau d'eau (m)	Conséquences	Refroidissement piscine	Refroidissement cœur
2623	< + 71,00	RAS	<ul style="list-style-type: none"> • Pompes CTP <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP • Pompes STP <ul style="list-style-type: none"> - SRI sur STP - CRU sur STP • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP - CMU par appoint • RRA <ul style="list-style-type: none"> - CRU sur RRA - CRI sur RRA • GV <ul style="list-style-type: none"> - par EAA <ul style="list-style-type: none"> CEB sur EAA EDN sur EAA - par AUG <ul style="list-style-type: none"> EDN sur AUG CEU sur AUG - par EAN - CMU par appoint GV
2628	< + 71,00	RAS	<ul style="list-style-type: none"> • Pompes CTP <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP • Pompes STP <ul style="list-style-type: none"> - SRI sur STP - CRU sur STP • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP - CMU par appoint • RRA <ul style="list-style-type: none"> - CRU sur RRA - CRI sur RRA • GV <ul style="list-style-type: none"> - par EAA <ul style="list-style-type: none"> CEB sur EAA EDN sur EAA - par AUG <ul style="list-style-type: none"> EDN sur AUG CEU sur AUG - par EAN - CMU par appoint GV
2705	< + 71,00	RAS	<ul style="list-style-type: none"> • Pompes CTP <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP • Pompes STP <ul style="list-style-type: none"> - SRI sur STP - CRU sur STP • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP - CMU par appoint • RRA <ul style="list-style-type: none"> - CRU sur RRA - CRI sur RRA • GV <ul style="list-style-type: none"> - par EAA <ul style="list-style-type: none"> CEB sur EAA EDN sur EAA - par AUG <ul style="list-style-type: none"> EDN sur AUG CEU sur AUG - par EAN - CMU par appoint GV

UNITÉ 2

Débit Meuse (m ³ /s)	Niveau d'eau (m)	Conséquences	Refroidissement piscine	Refroidissement cœur
2795	+ 71,50	Tout début d'entrée d'eau au Ban-D, évacuable par les puisards	<ul style="list-style-type: none"> • Pompes CTP <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP - CMU par appoint • RRA <ul style="list-style-type: none"> - CRU sur RRA - CRI sur RRA • GV <ul style="list-style-type: none"> - par EAN - par EAA <ul style="list-style-type: none"> CEB sur EAA EDN sur EAA - par AUG <ul style="list-style-type: none"> EDN sur AUG CEU sur AUG - CMU par appoint GV
2887	+ 71,50	Immersion du BAN-D, du BAN-N (et donc du BAN-profond) et du BUS par prise d'air VBU ↘ perte de toutes les fonctions de sûreté des sauvegardes CIS-CAE-CTP et des fonctions du 2 nd niveau de protection	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • GV <ul style="list-style-type: none"> - par TPA EAA CEB sur EAA EDN sur EAA - CMU par appoint GV
3000	> + 71,75	Perte des diesels, du CEB et de l'EAA (y inclus TPA) Noyage des tableaux électriques du BUS	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation au DE • CMU par appoint DE 	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation • CMU par appoint piscine • CMU par appoint GV
3272	> + 71,75	Plus d'évolution	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation • CMU par appoint piscine • CMU par appoint GV
3480	> + 72	Plus d'évolution	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation • CMU par appoint piscine • CMU par appoint GV

3 INONDATION

UNITÉ 3				
Débit Meuse (m³/s)	Niveau d'eau (m)	Conséquences	Refroidissement piscine	Refroidissement cœur
2795	< + 71,25	RAS	<ul style="list-style-type: none"> • Pompes CTP <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP • Pompes STP <ul style="list-style-type: none"> - SRI sur STP - CRU sur STP • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP - CMU par appoint • RRA <ul style="list-style-type: none"> - CRU sur RRA - CRI sur RRA • GV <ul style="list-style-type: none"> - par EAA <ul style="list-style-type: none"> CEB sur EAA EDN sur EAA - par AUG <ul style="list-style-type: none"> EDN sur AUG CEU sur AUG - par EAN - CMU par appoint GV
2887	< + 71,50	Tout début d'entrée d'eau au Ban-D, évacuable par les puisards	<ul style="list-style-type: none"> • Pompes CTP <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP • Pompes STP <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur STP - CRU sur STP • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - CRI sur CTP - CRU sur CTP - CMU par appoint • RRA <ul style="list-style-type: none"> - CRU sur RRA - CRI sur RRA • GV <ul style="list-style-type: none"> - par EAA <ul style="list-style-type: none"> CEB sur EAA EDN sur EAA - par AUG <ul style="list-style-type: none"> EDN sur AUG CEU sur AUG - par EAN - CMU par appoint GV
3000	> + 71,50	Immersion du BAN-D, du BAN-N et profond ➤ perte des sauvegardes 1 ^{er} niveau CAE-CIS et du CRI	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation au DE • CMU par appoint DE • Pompes CTP <ul style="list-style-type: none"> - CRU sur CTP 	<ul style="list-style-type: none"> • CTP si piscines connectées <ul style="list-style-type: none"> - CRU sur CTP - CMU par appoint • RRA <ul style="list-style-type: none"> - CRU sur RRA • GV <ul style="list-style-type: none"> - par TPA EAA <ul style="list-style-type: none"> CEB sur EAA EDN sur EAA - par EAN - CMU par appoint GV
3272	> + 71,75	Noyage complet de tous les circuits 1 ^{er} et 2 nd niveau (perte pompes CTP et TPA EAA, noyage du BUS)	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation • CMU par appoint piscine • CMU par appoint GV
3480	> + 72,00	Plus d'évolution	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation • CMU par appoint 	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation • CMU par appoint piscine • CMU par appoint GV

3.2.4. Points faibles et effet falaise

3.2.4.1. Points faibles

De par sa conception, le site de Tihange est quasiment plat. L'écart entre le niveau régulé de la Meuse et les berges du site (ou le muret de protection le long du canal d'aménée) est de l'ordre de deux mètres. Si ces deux mètres suffisent à contenir le fleuve jusqu'à un débit de crue de l'ordre de 2 615 m³/s, l'absence de murs de plus grande hauteur constitue un point faible. Il en va de même du niveau de la prise d'eau en Meuse (entrée du canal d'aménée) et les différents exutoires (rejet des trois unités et exutoires des égouts).

Peu de bâtiments sont prévus pour être étanches vis-à-vis de la présence d'eau au-dessus du sol extérieur (quand c'est le cas, cette protection est de l'ordre de 0,2 m). Les faiblesses de ces bâtiments sont les portes d'entrées qui n'empêchent pas l'infiltration de l'eau. Il n'y a pas de capacité interne suffisante pour stocker cette eau, et les pompes des différents puisards sont insuffisantes pour évacuer le débit entrant dans une telle situation.

Au niveau des stations de pompage, les pompes CEB et de puits sont perdues dès que le niveau d'eau atteint 71,5 m sur l'unité 1 (paliers placés sous le niveau du sol), tandis que sur les unités 2 et 3 elles sont noyées lorsque l'eau atteint un niveau d'environ 71,75 m. Enfin, les bâtiments vitaux tels que les BAE (sauf à Tihange 1 où il est en hauteur), les BAN et les BUS sont dépourvus de margelle d'entrée, si bien que la lame d'eau entrante va noyer les étages enterrés où se trouvent 75 % des circuits de sauvegarde (CIS-CAE-CUS). Leur inondation entraîne celle des espaces annulaires.

En revanche, si différentes pompes conventionnelles sont endommagées par l'inondation, leur réparation (ou le remplacement des alimentations électriques) ne demandera que quelques jours après la décrue. Il sera alors de nouveau possible de puiser dans la nappe alluviale. Sur l'unité 3, qui possède des pompes à moteur immergé, un simple raccordement au boîtier d'alimentation électrique suffira.

3.2.4.2. Énumération des principaux effets falaise

Comme décrit précédemment, la crue décamillénale n'est pas un événement soudain, ce qui permet au SETHY d'alerter au préalable le site de Tihange bien avant le début de l'inondation potentielle du site.

Ce délai permet au site de Tihange d'organiser, au plus tard dix heures avant l'inondation de la plateforme, les actions suivantes :

- l'arrêt sûr et contrôlé des trois unités ;
- la réalisation du confinement d'enceinte ;
- la sous-criticité du cœur ;
- le passage vers un état de repli stabilisé sur le long terme (15 jours) ;
- l'alignement des moyens non classés disponibles sur site (constituant le CMU) pour garantir le maintien de ces états de repli en prévention de la défaillance des équipements classés.

Les équipements mobiles, et les groupes Diesel qui les alimentent, sont tous placés à plus de deux mètres au-dessus du niveau d'eau maximal atteint en cas de crue décamillénale. Ils sont donc totalement à l'abri de celle-ci.

Lorsque la crue dépasse la crue de référence, les effets falaise sont les suivants :

a) le premier effet falaise survient à un débit de l'ordre de 2 800 m³/s, avec l'entrée d'eau dans les bâtiments vitaux de l'unité 1. À ce stade, l'eau pénètre dans les bâtiments des piscines (BAN-N, BAN-D), la station de pompage et les locaux des GDS. Si l'unité 1 était en arrêt de tranche avant l'inondation, le CMU assure le refroidissement du cœur et du combustible en piscine de désactivation. Dans le cas contraire, la TPA EAS assure le refroidissement *via* les GV. La période de retour de ce débit est de 400 ans.

b) le deuxième effet falaise est l'atteinte d'un débit de 2 900 m³/s qui correspond à l'inondation des équipements sur socle de l'unité 1 et l'entrée d'eau sur l'unité 2.

La récurrence d'un tel débit est d'environ 600 ans.

Sur l'unité 1, le CMU prend le relais de la TPA EAS inondée.

Sur l'unité 2, si elle était en arrêt de tranche avant l'inondation, le CMU assure le refroidissement du cœur et du combustible en piscine de désactivation. Dans le cas contraire, la TPA EAA assure le refroidissement *via* les GV.

L'unité 3 ne subit que des dommages mineurs à ce débit.

c) le troisième effet falaise survient à 3000 m³/s en Meuse (période de retour d'environ 900 ans).

L'unité 2 se voit privée de la TPA EAA, le CMU assurant le refroidissement du combustible.

Sur l'unité 3, l'inondation commence de façon identique à l'unité 2 pour 2900 m³/s.

En ce qui concerne le DE, bien que les pompes de refroidissement soient inondées, son inertie lui permet de tenir plus de vingt jours sans appoint d'eau.

d) le dernier effet falaise se produit pour un débit compris entre 3000 et 3300 m³/s, débit qui mène à la perte de la TPA EAA de l'unité 3. Le CMU continue à assurer le refroidissement du combustible, à la fois en piscine et dans le cœur.

En conclusion, l'inondation progressive du site va conduire à une perte progressive de nombreux équipements classés. Lorsque ceux assurant le refroidissement du combustible seront atteints, le circuit CMU de chaque unité sera utilisé pour sauvegarder la fonction de refroidissement, tant du cœur que du combustible en piscine.

Les effets falaise énumérés n'entravent pas le refroidissement du cœur.

Le CMU peut assurer ce rôle pendant plus de deux semaines.

3.2.5. Crue et conditions météorologiques extrêmes

Le cumul des conditions météorologiques et de l'inondation a été considéré pour les cas où il existe un lien probable entre les phénomènes. Le but est ici d'évaluer l'impact de situations encore plus défavorables qu'une inondation seule. Les scénarii écrits ci-dessous combinent une inondation avec des conditions météorologiques défavorables (décrites en détail dans le chapitre 4), afin de mettre en lumière les aggravations qui pourraient en résulter.

3.2.5.1. Crue de référence et fortes pluies

Cette situation combine une crue de référence, ou inférieure, avec de fortes pluies (décrites en détail dans le paragraphe 4.1) au droit du site. Étant donné la présence de la couche limoneuse en surface et au recouvrement d'une grande partie du site de Tihange par de l'asphalte, la majeure partie de l'eau tombant sur le site est collectée par les égouts.

Comme expliqué dans le paragraphe 4.1, le réseau d'égouts du site est suffisant pour évacuer l'eau en cas de fortes pluies. Le niveau des bouches d'égout étant supérieur à celui atteint par la Meuse lors d'une crue de référence, le réseau d'égouttage reste opérationnel et permet toujours l'évacuation des eaux de pluie. Toutes les fonctions de sûreté restent donc opérationnelles dans cette configuration.

3.2.5.2. Crue de référence avec vents forts et perte de l'alimentation électrique extérieure

Cette situation combine une crue de référence, ou inférieure, avec de forts vents (décrits en détail dans le paragraphe 4.2) et la perte d'alimentation électrique extérieure qui résulte des forts vents.

Les vents, même forts, ne peuvent endommager les structures massives que sont les quais maçonnés du fleuve ou la rehausse des berges du canal d'aménée. Le site de Tihange reste donc protégé contre la crue elle-même.

En revanche, le vent peut créer un clapot sur le fleuve, et de faibles quantités d'eau sont alors susceptibles de passer par-dessus ces protections. Une fois arrivée sur le site, cette eau retourne en Meuse soit par les égouts (le niveau des bouches d'égout est supérieur à celui du fleuve lors d'une crue de référence) soit par ruissellement.

Le réseau d'égouts fonctionnant de manière gravitaire reste opérationnel. Seul le relevage d'une partie du réseau d'égouttage de Tihange 1 sera indisponible en cas de perte d'alimentation électrique extérieure. De par la topographie du site, le surplus d'eau de la fosse de démergement ruissellera alors jusqu'aux avaloirs les plus proches et, dans les cas les plus pénalisants, vers le muret de protection contre l'inondation. Lorsque le niveau de cette eau atteindra 71,35 m, elle s'écoulera vers le canal d'ame-

née. Aucun équipement de sûreté n'est atteint par un tel niveau d'eau dans la zone concernée. Par ailleurs les bâtiments abritant les équipements assurant les fonctions de sûreté sont dimensionnés pour résister aux vents violents. Toutes les fonctions de sûreté restent donc opérationnelles dans cette configuration.

3.2.5.3. Crue supérieure à la crue de référence, fortes pluies et perte de l'alimentation électrique extérieure

Cette situation combine une crue supérieure à la crue de référence avec de fortes pluies au droit du site de Tihange et la perte des alimentations électriques extérieures (due au probable « écroulement » du réseau belge). La plateforme étant alors partiellement ou totalement inondée par la Meuse, les fortes pluies n'engendrent pas de conséquence supplémentaire. En effet, les équipements du CMU se substituant aux équipements conventionnels (rendus inutilisables par la crue) sont situés à l'abri de l'inondation et des pluies. Comme ces équipements disposent d'une source électrique dédiée, la perte d'alimentation extérieure n'a aucun impact.

Dans cette configuration, le refroidissement des éléments combustibles dans les réacteurs et piscines est assuré durant la crue et au-delà par des moyens internes.

3.2.5.4. Crue supérieure à la crue de référence avec vents forts et perte de l'alimentation électrique extérieure

Cette situation combine une crue supérieure à la crue de référence avec de forts vents (décrits en détail dans le paragraphe 4.2.) et la perte d'alimentation électrique extérieure qui résulte des forts vents. En cas de crue hors conception, tous les équipements classés sont inutilisables, mais le CMU est mis en place dans la phase qui précède l'inondation pour garantir le refroidissement du cœur et des piscines. Certains équipements du CMU requièrent cependant un accès par l'extérieur.

Pendant l'inondation même, certains bâtiments ne sont accessibles que par les toits. La circulation du personnel sera contrariée par la tempête, ce qui ralentira les interventions. Toutefois, l'inertie due à l'eau présente dans les GV (11 heures au minimum) laisse suffisamment de souplesse pour attendre une accalmie favorable à la réalisation des opérations nécessaires.

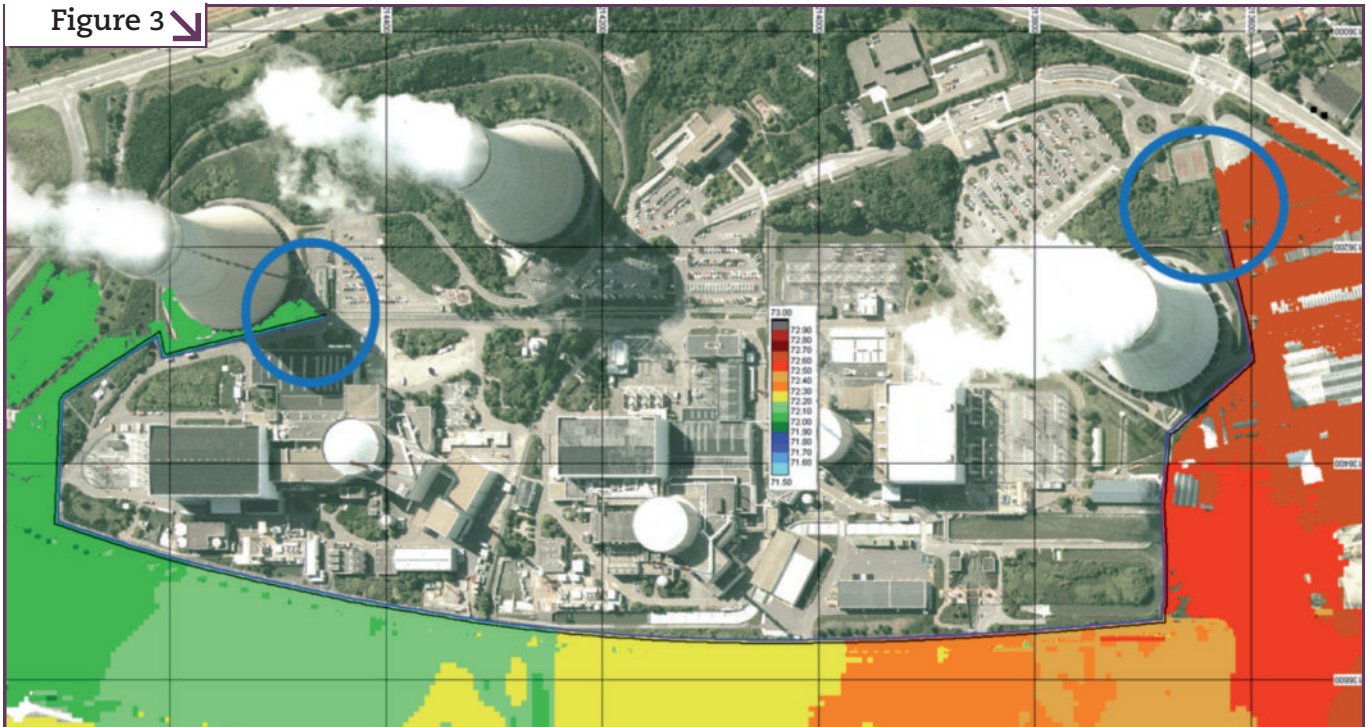
Certains équipements du CMU situés à l'extérieur (sur les toits) ne sont pas dimensionnés pour résister à une tempête. Par conséquent, ils risquent d'être endommagés.

Le site dispose toutefois de trois motopompes mobiles à moteur thermique à essence identiques, chacune pouvant à elle seule assurer le refroidissement à la fois du cœur *via* les GV, et du combustible en piscine par appoint d'eau. L'inertie de 11 à 14 heures (dépendant de l'unité) constituée par l'eau contenue dans les GV donne largement le temps de connecter cette pompe au circuit adéquat.

3.2.5.5. Crue supérieure à la crue de référence avec vents forts, fortes pluies et perte de l'alimentation électrique extérieure

Cette situation ajoute de fortes pluies au scénario précédent (une crue supérieure à la crue de référence, de forts vents et la perte des alimentations électriques extérieures). Aucune contrainte supplémentaire n'est retenue par rapport à la situation précédente.

Figure 3



Exemple de crue décennale, étudiée pour un type de configuration de mur.

3.2.6. Mesures qui peuvent être envisagées pour augmenter la robustesse du site

3.2.6.1. Améliorations matérielles

Des améliorations possibles de la protection contre l'inondation hors conception ont déjà été identifiées dans le cadre de la Révision Périodique de Sûreté. Les études de faisabilité sont aujourd'hui en cours. Pour les études finalisées, les réalisations sont en cours.

Ces améliorations consistent en la mise en place de trois lignes de défense successives et indépendantes. L'ensemble des opérations visant à rendre ces trois lignes fonctionnelles démarreront dans les heures précédant l'arrivée de l'eau sur le site, grâce au préavis du SETHY. La centrale sera donc prête à faire face à l'inondation décennale dès que la Meuse atteint le niveau de la crue de référence. Les trois lignes de défense sont détaillées ci-après.

a) La protection périphérique

L'Université de Liège a évalué le niveau d'eau consécutif à une crue décennale (de 3488 m³/s de débit). Un projet de protection périphérique du site adaptée à ce niveau est à l'étude. L'objectif d'un tel ouvrage est de maintenir le site au sec. Il s'agit d'un mur de hauteur supérieure à celle du niveau de la Meuse en cas de crue décennale, muni de batardeaux destinés, en cas de menace d'inondation du site, à obturer les ouvertures nécessaires à l'exploitation de la centrale (sur le canal d'amenée notamment, de même qu'au niveau du rejet de chaque unité).

Des solutions techniques et/ou organisationnelles permettront, d'une part, de rejeter en Meuse l'eau de refroidissement (eau brute ou de puits) et, d'autre part, d'éviter un effet « baignoire » en cas de fortes précipitations sur le site, par l'ajout de pompes de relevage.

Aucun équipement de l'installation ne sera alors affecté par la crue. Tous les systèmes, structures et composants nécessaires pour assurer la mise à l'arrêt stable et contrôlé des unités resteront disponibles. Il en ira de même pour tous les équipements, même non classés, si le réseau électrique extérieur est encore sous tension.

Malgré cette protection périphérique, les unités de Tihange ne pourront pas rester en production car la capacité de l'entrée d'eau du canal d'amenée sera réduite au minimum nécessaire pour assurer les alimentations vitales en eau de refroidissement. Par ailleurs, au titre de la défense en profondeur,

pour faire face à une défaillance locale de cette première protection entraînant une entrée d'eau subite sur le site :

- on maintient la stratégie actuelle de passage en état de repli en cas de menace d'inondation ;
- on étudie la mise en place d'une seconde ligne physique de défense contre l'inondation des bâtiments (*voir paragraphe suivant*).

La figure 3 illustre la situation en cas de crue décennale, étudiée pour un type de configuration de mur.

b) Les protections volumétriques locales

Le but de cette deuxième ligne de défense est de préserver sur chaque unité, de manière indépendante, un certain nombre de bâtiments abritant les équipements permettant d'assurer au minimum le refroidissement du combustible du réacteur et des piscines de désactivation. Dans ce but, un dispositif de batardeaux et autres moyens d'étanchéité sera mis en place durant la période de préavis.

Cette deuxième ligne de défense ne sera pas intégralement installée de façon permanente. Des équipements tels que les batardeaux pourront être placés durant la période de préavis.

c) La mobilisation de moyens non conventionnels sur le site

Tout comme la protection volumétrique, la mise en place de moyens mobiles non conventionnels se fera durant la période de préavis. Il s'agit essentiellement du renforcement de la robustesse et de la fiabilité des moyens du CMU déjà disponibles sur le site.

Les équipements actifs de cette troisième ligne de défense devront être entreposés ou fixés en hauteur, physiquement inatteignables par l'inondation.

Il s'agira notamment :

- d'augmenter la puissance des groupes diesels du CMU afin d'augmenter les fonctions ajoutées au CMU et/ou augmenter le nombre de pompes alimentables ;
- de faciliter les accès et les communications des intervenants ;
- de remplacer un maximum des éléments flexibles par des tuyauteries fixes afin de réduire les manutentions nécessaires pour aligner le circuit ;
- d'ajouter une pompe d'appoint primaire ;
- d'augmenter le nombre de mesures d'instrumentation secourues par le CMU pour faciliter le pilotage en situation d'accident.

Selon l'hydrogramme développé par l'ULg pour la Meuse au niveau de Tihange (*voir figure 2, p. 96*), les eaux devraient se retirer du site après environ cinq jours. Les moyens non conventionnels qui sont ajoutés au CMU auront eux aussi une autonomie supérieure à cette période.

3.2.6.2. Améliorations procédurales

Un jeu de procédures devra renforcer celles déjà existantes pour décrire l'entretien et la mise en œuvre des trois lignes de défense évoquées ci-dessus. À titre indicatif, on peut citer :

a) Pour toutes les lignes de défense

- un document coordinateur rédigé pour chaque unité, dont la lecture commencera dès le préavis de crue. Il renverra à une série de procédures d'exécution individuelles décrivant les opérations de mise à l'arrêt, de placement des moyens mobiles, de mise en place des trois lignes de défense ;

b) Pour la première ligne de défense

- des procédures devront couvrir les opérations de mise en place des batardeaux durant la période de préavis ;
- des procédures d'inspection et d'entretien périodiques de cette protection et de l'entreposage des éléments mobiles devront être rédigées. Il en va de même pour les inspections régulières et l'entretien des dispositifs « anti-baignoire ».

c) Pour la deuxième ligne de défense

- des procédures devront couvrir les opérations de mise en place de cette protection ;
- des procédures d’inspection et d’entretien périodiques des systèmes de protection volumétrique, ainsi que de leur entreposage, devront être rédigées.

d) Pour la troisième ligne de défense

- des procédures d’entretien et d’inspection des moyens mobiles et/ou fixes qui la constituent devront être rédigées ;
- des procédures individuelles, lancées à la demande du document coordinateur commun aux trois lignes de défense, décriront la mise en œuvre des moyens dits « ultimes ».

3.2.6.3. Améliorations de l’organisation

Les différentes couches organisationnelles – documents coordinateurs et procédures d’exécution – seront adaptées à l’amélioration des protections contre l’inondation (protection physique périphérique, protection volumétrique et utilisation de moyens mobiles).

Par ailleurs, le PIU devra lui aussi être adapté de manière à décrire spécifiquement l’organisation choisie pour faire face à une inondation simultanée sur les trois unités. Il faudra aussi s’assurer que toutes les ressources nécessaires sont mobilisables dans les délais adéquats pour mettre en place les trois lignes de défense avant l’inondation du site.

Les délais de mise en œuvre et la bonne compréhension des opérations à réaliser dans le cadre de ces trois nouvelles lignes de défense seront validés par des exercices périodiques.

4

PHÉNOMÈNES NATURELS EXTRÊMES



4	Introduction	p. 116
4.1	Fortes pluies	p. 116
	4.1.1. Caractérisation des pluies torrentielles	
	4.1.2. Base de conception	
	4.1.3. Analyse	
	4.1.4. Conclusion	
4.2	Vents violents	p. 118
	4.2.1. Caractérisation des vents violents	
	4.2.2. Base de conception	
	4.2.3. Analyse	
	4.2.3.1. Tenue des bâtiments	
	4.2.3.2. Le clapot sur la Meuse	
	4.2.4. Conclusion	
4.3	Tornades	p. 120
	4.3.1. Caractérisation des tornades	
	4.3.2. Base de conception	
	4.3.3. Analyse	
	4.3.3.1. Choix des critères de dimensionnement	
	4.3.3.2. Vulnérabilité de certains équipements	
	4.3.3.3. Analyse des conséquences des tornades en fonction de la vitesse du vent	
	4.3.4. Conclusion	
4.4	Foudre	p. 123
	4.4.1. Caractérisation de la foudre	
	4.4.2. Base de conception	
	4.4.3. Analyse	
	4.4.4. Conclusion	
4.5	Effets de la neige	p. 123
	4.5.1. Caractérisation des chutes de neige	
	4.5.2. Base de conception	
	4.5.3. Analyse	
	4.5.3.1. Tenue des toits	
	4.5.3.2. Tenue des câbles du réseau externe	
	4.5.4. Conclusion	
4.6	Grêle	p. 125
4.7	Autres conditions climatiques extrêmes	p. 125
	4.7.1. Températures extrêmes	
	4.7.2. Cyclone tropical, typhon, ouragan	
	4.7.3. Tempête de sable ou de poussière	
	4.7.4. Trombe marine	

4

Introduction

Certains phénomènes naturels, comme les pluies torrentielles, les vents violents, la tornade, la foudre, la neige et la grêle, peuvent affecter le site. Ils sont analysés dans les paragraphes qui suivent. Les cyclones tropicaux, typhons et ouragans, les tempêtes de sable ou de poussière et les trombes marines, qui n'ont aucune pertinence pour le site de Tihange pour d'évidentes raisons géographiques, ne sont pas analysés. Aucun des aléas analysés ne peut affecter les fonctions de sûreté du site.

4.1

Fortes pluies

4.1.1. Caractérisation des pluies torrentielles

Les données relatives aux précipitations prises en compte à la conception des unités se basent sur les observations effectuées par l'Institut royal météorologique (IRM) à la station de Huy-Statte, sur une période allant de 1901 à 1930. Ces observations sont valables pour le site de Tihange, situé à une altitude comparable. La plus forte pluie enregistrée au cours de ces trente années a provoqué la chute de 59 mm d'eau en une journée.

Depuis, la Région Wallonne, Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques, publie des courbes intensité/durée/fréquence (IDF) et des tables quantité/durée/fréquence (QDF) pour les différentes communes. Le tableau 1 page suivante reprend la table QDF pour la commune de Huy. En 1999, la numérisation de données anciennes concernant les pluies relevées à la station d'Uccle a été achevée.

Il résulte de tout cela un ensemble de données couvrant une période d'un siècle, de 1898 à 1997. L'Université Catholique de Louvain (KUL-UCL) a effectué une recherche sur cette base afin d'en extraire des tendances. Par rapport à l'adéquation des bases de conception, cette analyse a conclu qu'aucune tendance significative ne pouvait être dégagée. Il apparaît cependant que les fortes pluies de durée relativement courte surviennent surtout pendant la période estivale.

Enfin, l'analyse de l'IRM concernant l'évolution climatique en Belgique, basée sur des données jusqu'à 2007, confirme qu'il n'y a pas d'évolution remarquable des quantités de pluie tombées pendant de courtes périodes (une à plusieurs heures). Des pluies extrêmes ont eu lieu à deux reprises durant le mois d'Aout 2011. Les valeurs communiquées par l'Institut Royal Météorologique sont de :

- le 18/08/2011 à Bertem : 36,6 mm en 1 heure et 70,1 mm en 24 heures ;
- le 22/08/2011 à Uccle : 32,4 mm en 20 minutes, 38 mm en 1 heure et 44,3 mm en 24 heures. En comparaison avec la région de Huy, ceci est proche de la pluie centennale d'une durée de 20 minutes.

4.1.2. Base de conception

En cas de pluies torrentielles, le drainage du site s'effectue par le réseau d'égouts. Le dimensionnement de ce réseau a été établi à partir des abaques utilisés pour les égouts publics. La base de calcul pour la Belgique est une précipitation de 120 litres par seconde et par hectare pendant une durée de vingt minutes. Ces abaques indiquent également que les fortes pluies dépassent rarement le régime instantané de 150 litres par seconde et par hectare (ce qui correspond à 54 mm/h), pendant une durée généralement insuffisante pour intervenir dans les calculs déterminant les conditions de remplissage des canalisations sur toute leur hauteur. En fait, seule une partie des eaux de pluie est récupérée par les égouts, l'autre partie étant retenue par différentes surfaces, évaporée ou infiltrée dans le sol. Lors de la conception du site de Tihange, les égouts ont été

Tableau 1 ↘

Quantité Durée Fréquence (QDF) pour la commune de Huy

D/T	2 mois	3 mois	6 mois	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans	200 ans
10 min	4,2	5,1	6,7	8,5	10,4	13,1	15,4	17,8	19,3	21,3	24,2	27,2
20 min	5,7	6,9	9,1	11,4	13,9	17,4	20,4	23,5	25,5	28,1	31,8	35,8
30 min	6,7	8,1	10,5	13,2	16,0	20,0	23,4	27,0	29,2	32,1	36,4	40,9
1 heure	8,6	10,2	13,1	16,2	19,6	24,5	28,4	32,7	35,4	38,9	44,0	49,4
2 heures	10,5	12,3	15,7	19,2	23,1	28,6	33,2	38,1	41,1	45,1	50,9	57,2
6 heures	13,7	15,9	19,8	24,0	28,5	35,0	40,4	46,1	49,7	54,4	61,2	68,5
12 heures	16,2	18,6	22,9	27,5	32,5	39,6	45,5	51,8	55,7	60,9	68,3	76,4
1 jour	19,6	22,2	27,0	32,2	37,7	45,7	52,2	59,3	63,7	69,4	77,8	86,8
2 jours	24,4	27,4	33,0	38,9	45,3	54,6	62,1	70,3	75,3	82,0	91,6	102,0
3 jours	28,3	31,7	37,8	44,5	51,6	61,8	70,2	79,2	84,8	92,2	102,9	114,4
4 jours	31,8	35,5	42,2	49,4	57,1	68,2	77,4	87,2	93,3	101,4	113,0	125,5
5 jours	35,0	39,0	46,1	53,9	62,2	74,1	84,0	94,5	101,1	109,7	122,2	135,7
7 jours	40,9	45,3	53,4	62,1	71,5	84,9	96,0	107,9	115,3	125,0	139,1	154,2
10 jours	48,9	54,0	63,3	73,3	84,1	99,5	112,3	125,9	134,4	145,6	161,8	179,2
15 jours	60,9	67,0	78,1	90,1	102,9	121,3	136,5	152,9	163,0	176,3	195,6	216,4
20 jours	72,0	79,0	91,7	105,4	120,1	141,3	158,7	177,4	189,0	204,3	226,4	250,2
25 jours	82,5	90,3	104,5	119,8	136,3	159,9	179,4	200,3	213,3	230,4	255,2	281,8
30 jours	92,5	101,1	116,8	133,6	151,7	177,7	199,1	222,1	236,4	255,2	282,5	311,7

dimensionnés sur base d'une valeur de 150 litres par seconde et par hectare pour les surfaces de routes, parkings et autres aires imperméabilisées.

Valeurs extrêmes de quantité de pluie déposée pendant une certaine durée (D) en fonction de la période de retour (T) envisagée. Les valeurs sont exprimées en mm déposés pendant la durée D (1 mm = 1 l/m²).

4.1.3. Analyse

Le système d'égouts de Tihange est indépendant du réseau public. Chaque unité possède son propre circuit d'égouttage et son propre rejet en Meuse.

Le réseau de l'unité 1 a la particularité d'être divisé en deux parties. Le rejet de la partie « Est-Centre » est configuré comme ceux des unités 2 et 3 : l'écoulement se fait par gravité vers un point situé à quelques mètres de profondeur dans la Meuse. Par contre, les eaux de rejet de la partie « Ouest » du réseau de l'unité 1 sont relevées dans une fosse de démergement située près de la station de pompage de l'unité, d'où elles sont pompées vers le rejet d'eau brute.

Dans le cadre de la troisième Révision Périodique de Sûreté, un calcul est en cours pour confirmer la capacité d'évacuation des égouts en tous points. Des améliorations seraient apportées si cette capacité se révélait insuffisante.

Si des pluies torrentielles surviennent en période de forte crue de la Meuse, le réseau d'égouts du site continue d'assumer sa fonction – pour autant que la crue reste inférieure ou égale à la crue de référence (débit de 2615 m³/s, soit un niveau de 71,30 m).

4.1.4. Conclusion

Les données actuelles n'indiquent pas d'augmentation significative de l'intensité des précipitations depuis la mise en service de Tihange 1. Les valeurs utilisées lors de la conception restent adéquates. Si l'on compare la capacité d'évacuation des égouts du site avec les données intensité-durée-fréquence, on constate que cette capacité ne peut être excédée que pendant de courtes durées, de quelques minutes à quelques dizaines de minutes. Dans ce cas, le volume d'eau stagnant sur le site restera faible et sera évacué dans les minutes suivant l'affaiblissement de la pluie.

4.2

Vents violents

4.2.1. Caractérisation des vents violents

D'après des enregistrements anémométriques effectués en Belgique de 1840 à 1949, la vitesse du vent n'a dépassé que deux ou trois fois les 40 m/s durant ce siècle, en arrivant notamment à 45 m/s en 1929 à Haren.

Des données plus récentes ont été récoltées depuis 1949 concernant les vitesses de vents constatées en Belgique, qu'il s'agisse de rafales ou de vitesses moyennes.

- la vitesse la plus élevée constatée à ce jour en Belgique est de 46,7 m/s pour une rafale mesurée en 1990 à Beauvechain;
- des mesures effectuées à Bierset, donc plus proches du site, donnent une vitesse maximale de 44 m/s (rafale) pour une période de retour de 100 ans. Aux endroits plus abrités, cette vitesse maximale descend à 34 m/s (rafale);
- les données les plus récentes (de 1993 à 2010) enregistrées à Bierset n'indiquent pas de valeur supérieure au record de vitesse relevé en 1990 à Beauvechain;

- dans le cadre des études sur le risque d'inondation à Tihange, des données sur la vitesse maximale journalière (moyenne sur 10 minutes) des vents à Bierset (de 1985 à 2003) ont été rassemblées. Il en résulte une vitesse maximale journalière de 25 m/s;

- le 14 juillet 2010, une des lignes de secours de 150 kV a été rendue indisponible suite à une forte tempête ayant endommagé plusieurs pylônes appartenant au réseau d'ELIA. À cette occasion, une pointe de 26 m/s (rafale) a été mesurée sur le site de Tihange. Conformément à la conception, aucun équipement IPS n'a été endommagé.

- une vitesse maximale de 26,8 m/s (moyenne sur 10 minutes) a été relevée à Bierset pour la période 2003-2009;



Échelle de Beaufort

L'échelle de Beaufort, utilisée pour définir l'intensité du vent, se réfère à la vitesse moyenne du vent pendant dix minutes, mesurée à dix mètres de hauteur. À partir de 12 Beaufort, on parle d'un ouragan : la vitesse de vent dépassera alors 117 km/h (32,5 m/s).

Les rafales sont un phénomène différent : il s'agit d'une vitesse moyenne du vent sur trois secondes. Pendant les tempêtes, la vitesse moyenne du vent sur une période de 10 à 60 minutes vaut en général la moitié de celle des rafales – sauf près des côtes où elle peut atteindre les deux tiers de la vitesse des rafales.

4.2.2. Base de conception

Le vent de référence choisi à la conception est défini comme « vent maximum exceptionnel » par la norme NBN-460 (action du vent sur les constructions). Il est caractérisé par une vitesse de 49 m/s à 25 mètres du sol. Pour les autres hauteurs, une loi de variation de vitesse de vent est suivie.

4.2.3. Analyse

4.2.3.1. Tenue des bâtiments

La norme NBN-460 concerne la construction générale : elle est valable pour tout bâtiment.

Les bâtiments importants pour la sûreté ont toutefois été calculés pour résister à des charges mécaniques plus importantes que celles occasionnées par des vents forts (par exemple les charges extrêmes dues aux tornades).

Par ailleurs, des vents forts aux environs de Tihange peuvent affecter les alimentations électriques externes ou un poste à très haute tension sur le site. Cela peut entraîner la perte totale ou partielle de l'alimentation électrique extérieure, situation couverte par la conception.

4.2.3.2. Le clapot sur la Meuse

Les forts vents peuvent aussi créer des vagues sur les cours d'eau. Dans le cadre de l'actuelle Révi-

sion Périodique de Sûreté, l'ULg a étudié l'amplitude des vagues produites par des vents exceptionnels sur la portion de Meuse faisant face au site de Tihange.

La détermination de l'amplitude des vagues s'appuie, entre autres, sur la longueur de l'étendue d'eau sur laquelle le vent peut souffler de manière prolongée et régulière. En mer, cette longueur est relativement facile à déterminer. Il n'en va pas de même en rivière où des paramètres comme le rapport entre la longueur et la largeur du bief, la présence de méandres ou d'obstacles, etc., rendent les calculs beaucoup plus complexes. Au niveau du site de Tihange, la Meuse présente une légère déviation qui la fait passer d'une orientation « ouest-nord-ouest » à une orientation « ouest-sud-ouest ». Ce sont les deux seules directions pour lesquelles il existe une longueur d'eau suffisante pour engendrer une houle significative. Pour le site de Tihange, la distance à prendre en compte est de 430 mètres. Les formules empiriques déterminant les hauteurs de vagues s'appliquent essentiellement aux grandes étendues d'eau, et non aux rivières. Elles ne tiennent pas compte des phénomènes importants de diffraction et de réfraction d'ondes dus à la topographie du fond ou la courbure de la rivière. Au niveau du site de Tihange, la hauteur maximale des vagues calculée à l'aide de ces formules est d'environ 0,5 m pour un vent d'une vitesse moyenne journalière de 25 m/s, soit le maximum mesuré à Bierset. Pour le vent maximal de conception, soit une rafale à 49 m/s, supposé correspondre à un vent moyen de 34 m/s (soit les deux tiers de la vitesse des rafales, ce qui constitue une valeur conservative valable pour les côtes et non l'intérieur des terres), la hauteur théorique de vagues est d'environ 0,7 m. Cette hauteur est la distance totale entre le sommet et le creux des vagues, soit l'amplitude du phénomène. Le sommet des vagues ne dépasse le niveau moyen que de la moitié de cette valeur (et le creux est situé à la même distance en dessous du niveau moyen). Pour des conditions de vent correspondant à la vitesse maximale de conception, le sommet théorique des vagues dépasse donc de 0,35 m le niveau moyen de la Meuse à la hauteur du site de Tihange.

En situation normale, le niveau de la Meuse à la hauteur du site de Tihange est régulé à 69,25 m. Le niveau des berges maçonnées et les rehausses des berges du canal d'amenée atteignant au minimum 71,35 m, des vagues de quelques dizaines de centimètres ne posent alors aucun problème. En cas de crue de référence combinée à de forts vents soufflant dans la direction de l'axe de la Meuse, les vagues engendrées par la houle pourraient dépasser la hauteur des berges. L'eau déposée sur site retourne en Meuse par le réseau d'égouttage et le niveau d'eau présent en bordure de site ne peut excéder quelques centimètres.

Les installations importantes pour la sûreté (IPS) étant éloignées des berges de la Meuse, elles n'encourent pas le risque d'être inondées. La propagation des vagues dans le canal d'amenée et le risque de débordement par-dessus le muret longeant ce canal ont également été envisagés. L'évaluation quantitative de l'amortissement des vagues de Meuse dans le canal d'amenée est très complexe. Cette analyse implique plusieurs mécanismes (réfraction, réflexion, diffraction, amortissement des vagues) et fait intervenir de nombreux paramètres (géométrie du canal d'amenée, obstacles).

Le fait que les vagues en Meuse progressent perpendiculairement à l'axe de l'ouverture du canal d'amenée, et que l'ouvrage soit pourvu de nombreux piliers, assure un amortissement important de ces vagues.

Par conséquent, on estime que seule la situation de crue de référence combinée à de forts vents soufflant dans la direction de l'axe de la Meuse peut engendrer dans le canal d'amenée des vagues d'une dizaine de centimètres. Celles-ci peuvent provoquer un débordement limité par-dessus du muret. Cette petite quantité d'eau est alors évacuée par le réseau d'égouts et les infiltrations dans le sol. Si nécessaire, il est fait appel aux pompes mobiles disponibles sur le site.

4.2.4. Conclusion

Le « vent maximal exceptionnel » de 49 m/s, vitesse de rafale utilisée comme base de conception pour les bâtiments sur site, n'a jamais été mesuré en Belgique. De plus, il représente une charge mécanique bien inférieure aux capacités de résistance des bâtiments IPS de Tihange.

La perte totale ou partielle de l'alimentation électrique extérieure, qui peut résulter de vents forts dans les environs du site, est prise en compte dans les bases de conception des unités.

4.3 Tornades

4.3.1. Caractérisation des tornades

Les tornades surviennent le plus souvent aux États-Unis. En Belgique, sur la base des dégâts constatés (données de 1880 à 1940), ces phénomènes ont été estimés au maximum en classe F2 sur l'échelle Fujita dans sa version originale (*voir ci-contre*). Cela correspond à des vitesses maximales de 50 m/s à 70 m/s (180 à 250 km/h).



L'échelle de Fujita

a été développée pour exprimer l'importance des dégâts provoqués par les tornades. Dans sa version originale (échelle F, 1971), elle faisait le lien entre l'échelle de Beaufort et l'échelle Mach. Cette échelle originale a toutefois des limitations. Elle ne donne qu'une description générale du type des dégâts, sans indicateur clair pour leur estimation. De plus, les vitesses de vent nécessaires pour provoquer les dégâts décrits sont surestimées. L'échelle dite « Enhanced Fujita » (échelle EF, 2007) a été déduite de l'échelle originale en utilisant des indicateurs de dégâts et des seuils de dégâts. Les vitesses de vents associées à l'échelle originale de Fujita ont été réduites.

Dans le cas de tornades, la vitesse du vent est la somme des vitesses de rotation et de translation. Pour des tornades de la plus basse catégorie, les vents atteignent des vitesses caractéristiques de très fortes tempêtes.

Parmi les tornades répertoriées en Belgique dans l'intervalle 1880-1940, l'événement ayant donné lieu à la vitesse de vent la plus élevée est l'ensemble de tornades qui se sont déplacées depuis la Hollande lors de la forte tempête du 10 août 1925. On a estimé qu'à cette occasion, la vitesse du vent avait atteint localement des valeurs de l'ordre de 250 km/h. Une tornade d'intensité élevée s'est produite le 20 septembre 1982 à Légglise. La vitesse maximale du vent a été estimée à 250 km/h et la largeur de la tornade était d'environ 50 m. Les dégâts furent importants, des toitures ont été emportées et des bâtiments détruits. Une autre tornade d'intensité élevée avec des dégâts comparables a eu lieu à Oostmalle le 25 juin 1967. De manière générale, des tornades de plus faible intensité surviennent chaque année en Belgique.

En France, une tornade de forte intensité a frappé le département du Nord, à Hautmont, le 3 août 2008. Cette tornade, qui a provoqué des dommages très importants sur plusieurs kilomètres, a été classée EF4 sur l'échelle améliorée de Fujita, ce qui correspond à un vent d'une vitesse (estimée) de 267 à 322 km/h.

Il n'existe pas de données systématiques concernant les tornades (en particulier pour l'intensité) en Belgique. On peut cependant noter les éléments ci-dessous :

- il survient quatre à sept fois moins de tornades en Europe qu'aux États-Unis ;
- il survient entre quatre à six tornades chaque année en Belgique ;
- la plupart des tornades survenant en Belgique se situent dans les classes EF0 à EF2. Des événements de classe EF3 y sont probablement rares sur le plan probabiliste. Notons toutefois que la tornade de Hautmont, dans le nord de la France à la hauteur de la frontière belge, était d'intensité EF4 sur une partie limitée de son trajet ;
- il n'y a pas de tendance dans l'évolution des statistiques ;
- en Belgique, il n'y a pas d'endroits où les tornades sont localement plus fréquentes ;
- la moitié des tornades en Belgique surviennent pendant l'été, mais elles peuvent aussi prendre naissance en hiver ;
- la durée de vie d'une tornade en Belgique se limite à quelques minutes. Le diamètre des tourbillons varie de quelques mètres à quelques dizaines de mètres. La longueur du trajet se situe entre quelques dizaines de mètres et quelques centaines de mètres.

4.3.2. Base de conception

La conception des structures pour les tornades est basée sur les vitesses de vent maximales.

Bâtiments de l'unité 1

La tornade de référence retenue pour l'unité 1 produit des vents de 70 m/s (250 km/h). La résistance à ces vents a été vérifiée pour tous les bâtiments lors de la première Révision Périodique de Sûreté. Des mesures correctives ont été prises, sauf pour la cheminée de ventilation qui ne résisterait pas mais dont la chute n'a pas de conséquence sur les équipements IPS.

Le risque lié aux projectiles n'a pas été pris en compte pour la conception des bâtiments électriques (étage supérieur) ni pour celui des groupes Diesel de secours (GDS). Pour ces derniers, la construction constituée par des murs en béton armés résistant au séisme DBE évite cependant tout risque de perte des groupes Diesels de secours sous l'effet de projectiles entraînés par la tornade.

Bâtiments des unités 2 et 3, et bâtiment DE

Pour les unités 2 et 3, et pour le bâtiment DE, les vents de la tornade de référence atteignent une vitesse de 107,3 m/s (385 km/h). Cette tornade n'a toutefois été prise en compte que pour les bâtiments « bunkerisés ». Les cheminées des deux unités ne sont pas conçues pour de tels vents, mais l'effet de leur chute a été étudié. Il en ressort que les bâtiments « bunkerisés » sont protégés.

4.3.3. Analyse

4.3.3.1. Choix des critères de dimensionnement

Les bâtiments importants pour la sûreté comme décrit ci-dessus résistent à leur tornade de référence. Pour l'unité 1, cette tornade de référence est caractérisée par une vitesse de vents de 70 m/s (250 km/h). La probabilité qu'une tornade à vitesse supérieure à 70 m/s atteigne un point de Tihange est estimée à moins de $5,8 \cdot 10^{-7}/\text{an}$, soit une période de retour de près de 2 millions d'années. Malgré cela, la base de conception des unités de Tihange 2 et 3 retient une vitesse de 107,3 m/s (385 km/h). C'est la tornade de référence préconisée par l'*USNRC Regulatory Guide 1.76* pour les régions à plus haut risque des États-Unis.

4.3.3.2. Vulnérabilité de certains équipements

Les équipements suivants, implantés à l'extérieur des bâtiments, peuvent être vulnérables aux tornades de haute intensité (>180 km/h) :

- une tornade sur le site ou à proximité peut entraîner la perte des alimentations électriques externes (LOOP) par endommagement soit du poste Gramme, soit des lignes entre ce poste et la centrale, soit du poste HT d'une ou plusieurs unités. Cette situation est couverte par les bases de conception de chaque unité;
- les moteurs des pompes du circuit d'eau de Meuse (CEB) sont exposés sur les trois unités aux projectiles et peuvent être perdus. Ceci est sans conséquence grave :
 - sur l'unité 1, les GDS peuvent être refroidis soit par le CEB, soit par de l'eau de nappe (deux puits éloignés l'un de l'autre, et éloignés de plus de 100 mètres des pompes CEB, avec dans chacun deux pompes distinctes). Il est très peu probable que la tornade puisse toucher simultanément tous ces équipements. Par ailleurs, bien que chacun des deux puits ne soit protégé que par une structure en tôle ondulée peu résistante, il est encore moins probable qu'après l'envol de la tôle ondulée un projectile tombe dans le puits (rappelons que le rayon d'action d'une tornade fait de l'ordre de 50 m, et que celle-ci se déplace à grande vitesse. La durée de son passage est ainsi très courte). Les pompes conservées (CEB ou de nappe) peuvent alors réalimenter les GDS. Ceux-ci devront toutefois être redémarrés manuellement après raccordement de leur eau de refroidissement au circuit d'eau de nappe.
 - Par ailleurs, le DUR (refroidi à l'air) et le SUR restent également pleinement disponibles.
 - sur les unités 2 et 3, la perte des pompes CEB entraîne celles des GDS. Toutefois toutes les pompes CEU (de Meuse et de nappe) restent disponibles (elles sont bunkerisées). C'est donc le BUS qui assurera de façon **automatique** le maintien de l'unité dans un état sûr et stabilisé. Si le réseau extérieur est perdu, les groupes diesels du BUS assurent l'alimentation électrique des équipements.
- le groupe Diesel de Réserve (GDR) du site de Tihange, physiquement installé sur le site de l'unité 2, est refroidi par un système d'aéro-réfrigérant situé à l'extérieur et vulnérable aux projectiles. Si une centrale utilise ce GDR, elle ne perdra qu'un seul diesel. Cette simple défaillance fait partie des bases de conception. Par ailleurs, le DUR pour l'unité 1 et les GDU pour les unités 2 et 3 restent disponibles et assurent le maintien en état stable de leur unité respective.



Une conception basée sur des vitesses de vents de 70 m/s signifie que ces structures résistent à des tornades de la classe F2 selon l'échelle originale de Fujita. Selon l'échelle Enhanced Fujita, ces structures résistent à la plupart des tornades de classe EF3 (vitesse de vent entre 61 m/s et 75 m/s).

L'USNRC Regulatory Guide 1.76 (*Design-basis tornado and tornado missiles for nuclear power plants*), requiert que la conception des centrales nucléaires américaines prenne en compte des tornades de 103 m/s dans les régions à haut risque, et de 72 m/s pour les régions à plus faible risque (pour les États-Unis).



Dans la plupart des cas, l'effet des projectiles associés à une tornade est « couvert » par les calculs effectués pour les projectiles associés à une explosion externe.

4.3.3.3. Analyse des conséquences des tornades en fonction de la vitesse du vent

Les conséquences globales d'une tornade, avec le trajet le plus pénalisant, vont dépendre de son intensité. Voici les dégâts estimés sur le site de Tihange pour quelques intensités de tornades.

Tornade caractérisée par une vitesse de vent inférieure à 50 m/s (A)

Selon l'échelle de Fujita, les dégâts restent limités (endommagements des toitures, cheminées, portes et fenêtres, arbres déracinés). On considère que les équipements importants pour la sûreté à Tihange résistent. On ne peut cependant pas exclure la perte partielle de l'alimentation électrique extérieure.

Tornade caractérisée par une vitesse de vent de 50 à 70 m/s (B)

Selon l'échelle de Fujita, les dégâts deviennent importants (toitures arrachées, déplacement des voitures ou camions, dégâts importants aux bâtiments, déplacement des structures avec fondations légères). Les pompes CEB et le GDR pourraient être endommagés par des projectiles.

Tornade caractérisée par une vitesse de vent de 70 à 107 m/s (C)

Selon l'échelle de Fujita, les dégâts sont dits « catastrophiques » (maisons détruites, voitures et arbres lancés comme des projectiles).

Pour le site de Tihange, il n'y a pas de dégâts supplémentaires aux équipements IPS à envisager. Le tableau 2 ci-dessous résume cette analyse, en se référant à la perte des alimentations électriques et/ou des sources froides.

Tableau 2 ↘

Intensité tornade	Unité 1	Unités 2 et 3
A	<ul style="list-style-type: none"> • LOOP → Couvert par la conception 	<ul style="list-style-type: none"> • LOOP → Couvert par la conception
B	<ul style="list-style-type: none"> • LOOP • Perte source froide principale → Repli sur le GDS ou le SUR 	<ul style="list-style-type: none"> • LOOP • Perte source froide principale SBO 1^{er} niveau → Repli sur le BUS
C	<ul style="list-style-type: none"> • LOOP • Perte source froide principale → Repli sur le GDS ou le SUR 	<ul style="list-style-type: none"> • LOOP • Perte source froide principale SBO 1^{er} niveau → Repli sur le BUS

4.3.4. Conclusion

La conception des unités 2 et 3 répond à une tornade de référence dont l'intensité n'a jamais été observée dans cette région. La conception de l'unité 1 prend en compte une tornade d'intensité inférieure, mais dont l'apparition reste très rare en Europe.

Dans la plupart des cas, la tornade n'est pas le critère déterminant pour la conception des bâtiments, beaucoup d'entre eux résisteront à des contraintes mécaniques bien supérieures à celles occasionnées par la tornade de référence.

Dans les cas extrêmes, une tornade importante pourrait entraîner la perte partielle ou totale de l'alimentation électrique extérieure, éventuellement combinée avec celle de la source d'eau froide de la Meuse, mais pas des nappes.

4.4

Foudre

4.4.1. Caractérisation de la foudre

Pour la période 1901-1930, le nombre moyen de jours d'orage est de 19,6 par an dans la région de Tihange (relevé à Huy-Statte). Dans la région du site de Tihange, il se produit 1,76 coup de foudre/km² et par an. C'est une valeur supérieure à la moyenne en Belgique (1,19 coup de foudre/km² et par an).

4.4.2. Base de conception

Tous les bâtiments du site sont protégés contre la foudre conformément à la norme NBN C18-100, édition 1985 et son addendum.

4.4.3. Analyse

Depuis 2009, la nouvelle norme NBN EN (CEI) 62305 s'applique pour les nouveaux bâtiments. Une analyse du risque de foudre pour la centrale de Tihange a été menée suivant la méthodologie de cette nouvelle norme. L'efficacité du dispositif de mise à la terre et la justification des niveaux de protection requis et/ou conseillés ont été étudiées. Il en résulte des propositions de modifications techniques initiées dès 2010 qui ont débouché sur un projet de mise à la terre actuellement en cours (il est étalé sur les années 2011-2012-2013).

Il existe également un programme annuel d'essais périodiques des mises à la terre.

4.4.4. Conclusion

La protection contre la foudre des bâtiments du site respecte les normes applicables. Des modifications sont actuellement en cours, suite à une analyse du risque de foudre suivant la méthodologie de la nouvelle norme de 2009.

4.5

Effets de la neige

4.5.1. Caractérisation des chutes de neige

La neige est un phénomène météorologique relativement peu important en basse et moyenne Belgique. L'enneigement croît généralement avec l'altitude. En basse et moyenne Belgique, on compte en moyenne 15 jours de chutes de neige par an, en haute Belgique 30 jours et presque 40 jours sur les hauts plateaux. Les périodes durant lesquelles le sol est recouvert de neige varient fortement et dépendent du caractère hivernal. La plupart du temps, elles ne dépassent pas 3 à 5 jours. En Ardenne, la durée d'enneigement est un peu supérieure, surtout sur les hauts plateaux. Le 10 février 1902, on a mesuré une couche de neige record de 0,35 m à Uccle. Sur le plateau des Hautes-Fagnes, l'épaisseur de neige a atteint 1,15 m le 9 février 1953, valeur la plus importante enregistrée officiellement dans le pays (données IRM depuis le début du xx^e siècle).

Le site de Tihange se situe à une altitude équivalente à celle de la basse Belgique (altitude: 70 mètres au-dessus du niveau de la mer).

4.5.2. Base de conception

Lors de la conception du site de Tihange, une moyenne annuelle de 30 jours de neige dans la région a été prise en compte. La réglementation NBN 15-1963 a été appliquée pour la conception de l'unité 1,



La masse volumique de la neige dépend de la quantité d'air entre les flocons, du type de cristal formant les flocons, des conditions de vent et de température lors de la chute de neige et, enfin, pour la neige déposée, de son degré de vieillissement et de son taux d'humidité (à la suite d'une pluie ou d'un dégel). La densité dépend du poids des couches supérieures et de la métamorphose des grains. En règle générale, elle croît avec la profondeur. Il est communément admis que les masses volumiques de neige peuvent varier entre :

- 40 kg/m³ pour de la neige fraîche, froide et légère ;
- 100 kg/m³ en moyenne pour de la neige fraîche et sèche ;
- 400 kg/m³ pour de la neige de culture (peu d'air emprisonné, ne se tassant que peu) ;
- 600 kg/m³ pour une vieille neige de névé (glacier).

et la NBN B 15-103 (1977), relative à « Béton, béton armé et béton précontrainte – Calcul », pour celle des unités 2 et 3. Selon ces normes, la valeur de surcharge due à la neige préconisée pour la région de Tihange (altitude de 0 à 100 m) est, respectivement, de 0,35 kN/m² et 0,40 kN/m². À cette charge s'ajoute la prise en compte d'une charge ponctuelle de 2 kN sur 1 m² ou de 1 kN sur 0,2 x 0,2 m² (en choisissant la plus défavorable des deux) située n'importe où sur la toiture.

Depuis 1995, la réglementation appliquée pour les nouveaux bâtiments est celle actuellement en vigueur et est la transcription belge (NBN EN 1991-1-3-ANB : 2007) des normes européennes de construction (Eurocode 1).

Ce texte préconise, pour la région de Tihange (altitude de 0 à 100 m), de prendre en compte une surcharge pour la neige de 0,50 kN/m². Ces normes indiquent explicitement que les effets de la neige et du vent ne doivent pas être cumulés. À ce sujet, il est important de savoir que le vent peut engendrer des efforts de dépression sur les toitures, dont la prise en compte pour le dimensionnement (par ex. charpente/bardage) peut envelopper les effets de la neige.

Depuis 1995, on applique également, lorsque c'est jugé nécessaire, un code de bonne pratique qui est de dimensionner les toits à une charge de 1,20 kN/m².

4.5.3. Analyse

4.5.3.1. Tenue des toits

Il convient de garder à l'esprit que la neige ne représente qu'une partie des surcharges de toiture prises en compte dans les calculs de structure. Par ailleurs, les codes préconisent des valeurs minimales que l'on peut augmenter selon la nature du projet. C'est pourquoi la surcharge due à la neige n'est pas forcément une contrainte de dimensionnement. C'est le cas, par exemple, pour les bâtiments « bunkerisés », conçus pour résister à des efforts bien plus importants.

Ainsi, aucun problème n'est attendu, même en cas de chute exceptionnelle de neige, pour les Bâtiments Réacteur (BR) des trois unités, ainsi que pour les bâtiments BUS (W), BAN-piscine de désactivation (D et DE) et les puits d'eau et prise d'air des unités 2 et 3.

Pour les bâtiments non « bunkerisés », les marges existantes à la conception peuvent être réduites par l'ajout au cours du temps de charges supplémentaires sur les toits. Comme rappelé ci-dessus, les valeurs préconisées sont à considérer comme minimales. Étant donné l'application ponctuelle de codes de bonnes pratiques, et la prise en compte de charges plus importantes que l'enneigement, un certain nombre de bâtiments du site peuvent résister à une hauteur de neige bien plus importante que la valeur minimale recommandée dans les normes.

En considérant une masse volumique de neige de 100 kg/m³, soit 1kN/m², et une surcharge admissible de 0,35 à 0,4 kN/m², les toitures des bâtiments non « bunkerisés » peuvent supporter une couche de neige d'au minimum 30 cm.

4.5.3.2. Tenue des câbles du réseau externe

Sur un autre plan, une chute de neige importante dans les environs de Tihange pourrait surcharger (mécaniquement) les lignes à très haute tension, voire provoquer leur mise en oscillation sous l'effet du vent. Cela pourrait induire la perte partielle de l'alimentation électrique extérieure du site, situation couverte par la conception.

4.5.4. Conclusion

Tous les bâtiments du site de Tihange sont dimensionnés pour les charges de neige déterminées sur la base des normes applicables. De par leur conception (application de marges), certains résistent à des charges nettement plus importantes que celle induite par la neige. La marge existante n'est cependant pas quantifiée pour tous les bâtiments.

Il convient donc de limiter la surcharge admissible liée à la neige à 0,35 kN/m², soit une hauteur de 35 cm de neige (sans tenir compte d'une surcharge due à l'équipe d'intervention).

Pour ce faire, le site de Tihange créera des procédures afin de surveiller et de faire procéder au dégagement des toitures des bâtiments non « bunkerisés » dès que la couche de neige atteint environ 0,30 m.

Une chute de neige extrêmement importante pourrait mener à une perte partielle de l'alimentation électrique extérieure (LOOP). Cette situation est couverte par la base de conception des trois unités.

4.6

Grêle

La grêle est un phénomène météorologique localisé et bref. Il n'a pas été retenu dans les bases de dimensionnement car ses effets sont enveloppés par d'autres problématiques. Lors d'une tempête de grêle, les grêlons constituent des projectiles pouvant atteindre les bâtiments et équipements. Pour les centrales nucléaires, le « risque projectile » est couvert par conception vis-à-vis de projectiles plus importants.

4.7

Autres conditions climatiques extrêmes

➤ **Les conditions climatiques suivantes ne peuvent survenir à Tihange pour des raisons de localisation géographique, ou parce que leur dynamique est tellement lente que des mesures appropriées peuvent être prises avant les phases critiques.**

4.7.1. Températures extrêmes

Lors de la conception des centrales nucléaires, les températures extrêmes sont prises en compte pour le dimensionnement des équipements. Leurs valeurs sont déterminées sur la base de statistiques, et en fonction de la localisation géographique des installations. Lors des Révisions Périodiques de Sûreté, l'évolution des températures extrêmes durant les dix années écoulées est réévaluée. Si, à l'occasion d'une de ces révisions, ces températures sont modifiées, on vérifie le dimensionnement et le bon fonctionnement des systèmes et équipements concernés (ceux dont la conception doit tenir compte des températures extrêmes). Des modifications sont engagées si nécessaire.

L'atteinte de températures extrêmes ou l'apparition d'une période de sécheresse ne sont pas des phénomènes rapides ou soudains. Leur évolution lente permet d'engager à temps les actions nécessaires. Les centrales nucléaires disposent de procédures garantissant une exploitation sûre en cas de vague de chaleur ou de froid.

4.7.2. Cyclone tropical, typhon, ouragan

Un cyclone tropical est une forte dépression qui prend naissance au-dessus des eaux océaniques chaudes de la zone intertropicale. Ces dépressions sont appelées « ouragans » dans l'océan Atlantique, la mer des Caraïbes, le golfe du Mexique et dans la partie Est de l'océan Pacifique, et « typhons » dans la partie Ouest de l'océan Pacifique.

Étant donné la situation géographique du site de Tihange, ces phénomènes ne sont pas retenus dans la liste des conditions climatiques extrêmes.

4.7.3. Tempête de sable ou de poussière

Une tempête de sable ou de poussière peut survenir dans des régions arides et désertiques. Ces phénomènes apparaissent quand des vents violents transportent des particules de sable ou des poussières dans l'atmosphère.

Étant donné la situation géographique du site de Tihange, ces phénomènes ne sont pas retenus dans la liste des conditions climatiques extrêmes.

4.7.4. Trombe marine

Les trombes marines transportent d'importantes quantités d'eau à partir d'un plan d'eau de taille suffisante. Elles peuvent se former spontanément, en période de beau temps, au-dessus de la mer ou d'un grand lac. Elles peuvent également résulter de tornades prenant naissance au-dessus de la mer ou d'un grand lac, et sont alors plus puissantes.

Étant donné la situation géographique du site de Tihange et l'absence de grands lacs à proximité, ces phénomènes ne sont pas retenus dans la liste des conditions climatiques extrêmes.

5

PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES PERTE DES SOURCES FROIDES



5 Introduction

p. 130

5.1 Pour les réacteurs nucléaires

p. 135

5.1.1. Perte des alimentations électriques externes

- 5.1.1.1. Dispositions de conception
- 5.1.1.2. Autonomie
- 5.1.1.3. Dispositions permettant de prolonger la durée d'utilisation des alimentations électriques internes
- 5.1.1.4. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

5.1.2. Perte des alimentations électriques externes et des alimentations internes de secours

- 5.1.2.1. Dispositions de conception
- 5.1.2.2. Capacité et autonomie des batteries
- 5.1.2.3. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible
- 5.1.2.4. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible
- 5.1.2.5. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

5.1.3. Perte des alimentations électriques externes, de l'alimentation interne de secours et de toute autre alimentation de secours

- 5.1.3.1. Dispositions de conception
- 5.1.3.2. Capacité et autonomie des batteries
- 5.1.3.3. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible
- 5.1.3.4. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible
- 5.1.3.5. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

5.1.4. Perte de la source froide principale (accès à l'eau de Meuse)

- 5.1.4.1. Dispositions de conception
- 5.1.4.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible
- 5.1.4.3. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

5.1.5. Perte de la source froide principale et de la source froide « alternative »

- 5.1.5.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible
- 5.1.5.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible
- 5.1.5.3. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

5.1.6. Perte de la source froide principale combinée à la perte des alimentations électriques externes et internes du premier niveau

- 5.1.6.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible
- 5.1.6.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible
- 5.1.6.3. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

5.1.7. Perte de la source froide principale combinée à une perte des alimentations électriques externes, de l'alimentation interne de secours et de toute autre alimentation de secours

- 5.1.7.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible
- 5.1.7.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible
- 5.1.7.3. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

5.1.8. Perte de la source froide principale et des alimentations électriques externes, combinée à un séisme DBE

- 5.1.8.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible
- 5.1.8.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible
- 5.1.8.3. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

5.2 Pour le combustible utilisé des piscines du bâtiment combustible

p. 180

5.2.1. Perte des alimentations électriques externes

- 5.2.1.1. Dispositions de conception
- 5.2.1.2. Autonomie
- 5.2.1.3. Dispositions permettant de prolonger la durée d'utilisation des alimentations électriques internes
- 5.2.1.4. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

5.2.2. Perte des alimentations électriques externes et des alimentations internes de secours

- 5.2.2.1. Dispositions de conception
- 5.2.2.2. Capacité et autonomie des batteries
- 5.2.2.3. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible
- 5.2.2.4. Actions (extérieures) prévues pour éviter la dégradation du combustible
- 5.2.2.5. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

5

PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES PERTE DES SOURCES FROIDES



5.2.3. Perte des alimentations électriques externes et de l'alimentation électrique interne de secours et de toute autre alimentation de secours

- 5.2.3.1. Dispositions de conception
- 5.2.3.2. Capacité et autonomie des batteries
- 5.2.3.3. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible
- 5.2.3.4. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible
- 5.2.3.5. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

5.2.4. Perte de la source froide principale (accès à l'eau de Meuse)

- 5.2.4.1. Dispositions de conception
- 5.2.4.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible
- 5.2.4.3. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

5.2.5. Perte de la source froide principale et perte de la source froide ultime alternative

- 5.2.5.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement combustible
- 5.2.5.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible
- 5.2.5.3. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

5.2.6. Perte de la source froide principale cumulée avec la perte totale des alimentations électriques externes et internes du premier niveau

- 5.2.6.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible
- 5.2.6.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible
- 5.2.6.3. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

5.2.7. Perte de la source froide principale combinée à une perte des alimentations électriques externes, de l'alimentation interne de secours et de toute autre alimentation de secours

- 5.2.7.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible
- 5.2.7.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible
- 5.2.7.3. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

5.2.8. Perte de la source froide principale et des alimentations électriques externes, combinée à un séisme DBE

5.2.8.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible

5.2.8.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

5.2.8.3. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

5

Introduction

Alimentations électriques

La distribution électrique du site de Tihange assure à la fois l'évacuation vers le réseau de l'énergie produite par les unités et l'alimentation des systèmes auxiliaires nécessaires à leur fonctionnement, que ce soit en situation normale ou en cas d'incident ou d'accident (voir figure 1 p. 133). Afin de répondre aux exigences de sûreté, les installations de Tihange peuvent être alimentées par plusieurs sources différentes (et indépendantes) dont chacune a la capacité, si nécessaire, d'amener et de maintenir les unités dans un état d'arrêt stable et contrôlé.

Entre chaque unité et le poste haute tension de Gramme, l'alimentation externe principale est assurée – ainsi que l'évacuation de l'énergie produite – par :

- deux lignes aériennes à très haute tension (380 kV) pour Tihange 1 ;
- une ligne aérienne à très haute tension (380 kV) pour Tihange 2 ;
- une ligne aérienne à très haute tension (380 kV) pour Tihange 3.

La seconde alimentation externe des trois unités est assurée par un poste à haute tension installé sur le site et disposant de trois alimentations *via* deux cheminements différents (et indépendants) : une double alimentation depuis le poste à haute tension (150 kV) de Gramme et une alimentation (150 kV) depuis le poste des Awirs. Chacune de ces trois liaisons peut alimenter, à elle seule, tous les auxiliaires nécessaires à la mise à l'arrêt stable et contrôlé des trois unités simultanément. Chacune des trois lignes reliant le site de Tihange à celui de Gramme et à celui des Awirs est munie de ses propres circuits de contrôle et de dispositifs de protection indépendants. Les liaisons entre le poste haute tension 150 kV (installé sur site) et les unités sont assurées par des lignes souterraines.

Le cas le plus pénalisant consiste en la chute par torsion d'un pylône 380 kV, qui tomberait sur la double alimentation du poste 150 kV. Dans ce cas, le 380 kV et la double alimentation en 150 kV seraient perdus. C'est la raison d'être de l'alimentation indépendante en provenance des Awirs, qui garantit l'alimentation des auxiliaires de la centrale même dans ce cas de figure.

Il faut noter que Tihange 2 dispose également d'une autre liaison 150 kV (qui n'est pas une alimentation électrique externe de sûreté) avec le poste d'Avernas.

D'autre part, l'incident d'origine interne le plus probable pouvant affecter les deux sources indépendantes, c'est-à-dire 1) l'ensemble du transformateur de sortie des alternateurs (24 kV/380 kV) et des transformateurs alimentés par le 380 kV ou l'alternateur et 2) les transformateurs alimentés *via* le 150 kV, est l'incendie. Pour éviter la perte de la seconde source en cas d'incendie à la première, celles-ci sont physiquement séparées par des distances suffisantes et des murs coupe-feu.

Lorsque l'unité est en marche normale (en puissance), l'alternateur fournit l'énergie électrique aux auxiliaires de la centrale.

Dans certains cas de défaillance du réseau électrique principal, si le réacteur est en puissance, il passe automatiquement en îlotage, automatisme qui permet à l'unité de s'isoler du réseau extérieur tout en continuant à alimenter ses auxiliaires. L'alternateur ne fournit dès lors que la puissance nécessaire au fonctionnement des auxiliaires.

En cas d'échec de l'îlotage ou d'impossibilité de le réaliser, il y a transfert automatique du réseau électrique principal vers les transformateurs de secours (150 kV), et l'alimentation des auxiliaires est maintenue.

Figure 1

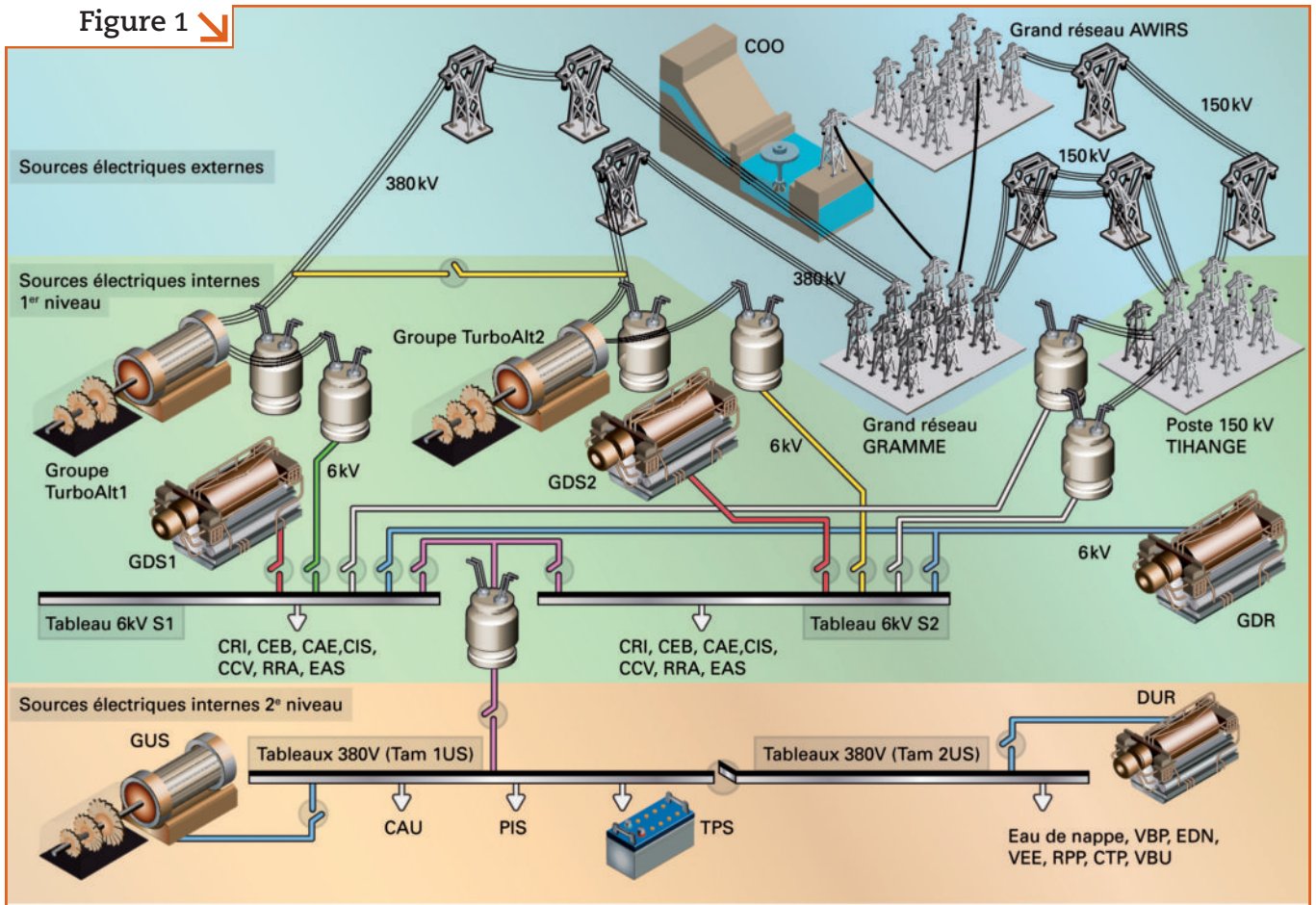


Schéma de principe des alimentations électriques à Tihange 1. Pour le schéma de principe Tihange 2 et 3 voir chapitre 1.

Concernant le réseau extérieur, selon la « loi relative à l'organisation du marché de l'électricité », le gestionnaire du réseau haute tension est responsable de l'exploitation et de la gestion de celui-ci. Le gestionnaire du réseau haute tension belge est ELIA.

Dans le « Contrat d'Accès » conclu entre le responsable d'accès (Electrabel) et ELIA, il est stipulé, dans le cas d'un réseau intact qu'une puissance suffisante doit être disponible sur les alimentations 380 kV et 150 kV des centrales nucléaires de Tihange (et Doel) afin d'assurer l'alimentation des auxiliaires vitaux des différentes unités.

Dans le « Contrat de Raccordement » conclu par site entre Electrabel et ELIA, sont décrits, à titre d'information, les accords spécifiques qui doivent être respectés par ELIA pour l'exploitation et l'entretien du réseau haute tension. Il y est également mentionné la disponibilité permanente des deux alimentations électriques indépendantes 150 kV pour l'alimentation des auxiliaires vitaux des centrales de Tihange (et Doel) – comme exigé par les Spécifications Techniques.

Par ailleurs, ce « contrat de Raccordement » mentionne les Codes de sauvegarde et de reconstruction du réseau haute tension belge. Ces codes de sauvegarde et de reconstruction ont été rédigés par ELIA conformément aux dispositions légales et réglementaires en la matière.

Le code de sauvegarde prévoit des actions nécessaires gérées par ELIA afin d'éviter une détérioration plus importante du réseau en cas de problème sur celui-ci. Ces actions peuvent inclure par exemple :

- un soutien au réseau par une modification de la puissance active et/ou réactive (MWatt-MVar) ;
- le démarrage des Turbojets ;
- l'interruption des liaisons avec certains consommateurs ou avec les réseaux étrangers.

Le code de reconstruction prévoit, par contre, les actions nécessaires gérées par ELIA, afin de reconstruire le réseau en cas de black-out.

Deux codes de reconstructions sont prévus par ELIA : « le Code de Reconstruction A » et « le Code de Reconstruction B ».

- le Code de Reconstruction A : pour ce premier cas, la construction des réseaux 380 kV et 150 kV se fait *via* les liaisons avec le réseau français ou hollandais.
- le Code de Reconstruction B : pour ce deuxième cas, la construction des réseaux 380 kV et 150 kV se fait à partir des centrales ayant réussi l'îlotage ou à partir du scénario dit *black start* mettant en œuvre les unités de production pouvant redémarrer après un *black-out* complet.

D'autre part, en cas de disparition complète de la tension sur le réseau belge et aux frontières, il est possible de réalimenter des auxiliaires des unités nucléaires de Tihange à partir de la centrale hydroélectrique de COO. Cette alimentation passe par les lignes à haute tension (150 kV) situées entre Tihange et Coo (*via* les postes de Brume et de Gramme). Si au moins une des trois unités de Tihange a réussi l'opération d'îlotage, – produit de l'énergie électrique nécessaire à l'alimentation de ces auxiliaires – grâce à la station de pompage de Coo, il est possible de réalimenter progressivement le réseau. Ce dernier peut alors alimenter les auxiliaires des autres unités.

Des essais (précédés dans certains cas par des simulations) ont été réalisés afin de démontrer la capacité de réalimenter une unité du site de Tihange par la station de Coo. Les opérateurs sont formés à la mise en œuvre de ce scénario et à la conduite d'un réseau séparé sur le simulateur de la centrale.

En cas d'endommagement des lignes, le gestionnaire de réseau dispose du matériel (câbles, pylônes) nécessaire pour installer une ligne de secours 380 kV de 2,2 km. De plus, il existe des conventions avec les gestionnaires de réseau hollandais et français pour la mise à disposition, en cas d'urgence, d'équipements nécessaires à la mise en place de ligne aérienne de secours de longueur plus importante.

Chaque unité dispose également de groupes électrogènes Diesel de secours (DBE), organisés en deux niveaux de protection. Chacun de ces niveaux de protection peut à lui seul maintenir le réacteur dans un état stable et contrôlé. De plus, un groupe Diesel de réserve, commun aux trois unités, peut être utilisé en lieu et place de n'importe quel groupe du premier niveau, pour n'importe quelle unité (*voir ci-contre*).

Chaque groupe Diesel de secours du premier niveau est capable, en cas de perte de tension, de démarrer seul, sans aucun auxiliaire grâce à deux systèmes de démarrages pneumatiques indépendants ainsi qu'aux pompes de gazole, d'huile et d'eau de refroidissement attelées au groupe Diesel. Les systèmes pneumatiques consistent en des réservoirs d'air comprimé qui, en cas de perte de tension, injectent de l'air dans les pistons, ce qui permet d'admettre le gazole et donc de démarrer le groupe.

Tous les groupes Diesel sont constamment en état de veille : préchauffés, tous les circuits prêts au démarrage. En cas de perte de tension, ils délivrent la pleine tension en une dizaine de secondes après avoir reçu l'ordre de démarrage.

La présence d'un double niveau de protection est une spécificité du site, et renforce encore sa capacité de résistance à des événements extérieurs dommageables (*voir encadré ci-dessous*).

Diesel de réserve

Un groupe Diesel de réserve (GDR) d'une puissance de 4 981 kW (puissance en régime continu), est présent sur le site de Tihange. Ce groupe diesel de secours est commun aux trois unités de Tihange et conçu de manière à résister aux séismes. Physiquement installé sur le site de Tihange 2, il est refroidi par des aéroréfrigérants (donc non dépendant de la source froide). Ce groupe dispose d'une autonomie identique au GDS, et peut être raccordé (hormis lors des entretiens périodiques) dans les 12 heures (selon le rapport de sûreté) en remplacement de n'importe quel groupe Diesel de secours de n'importe quelle unité de Tihange. En pratique, il a été vérifié que le temps effectif de raccordement du GDR est de l'ordre de deux heures.



Alimentations Électriques internes

Une spécificité des centrales de Tihange est qu'elles disposent de deux niveaux de protection. Chacun de ces niveaux de protection peut à lui seul maintenir le réacteur dans un état stable et contrôlé. En effet, ce deuxième niveau de protection a été conçu à l'origine afin de prendre

en compte la perte des alimentations électriques extérieures et intérieures (1^{er} niveau) à Tihange 2 et 3. Pour Tihange 1, un dispositif dit « d'ultime repli » a été ajouté lors de la première Révision Périodique de Sûreté pour couvrir cette situation.

Figure 2

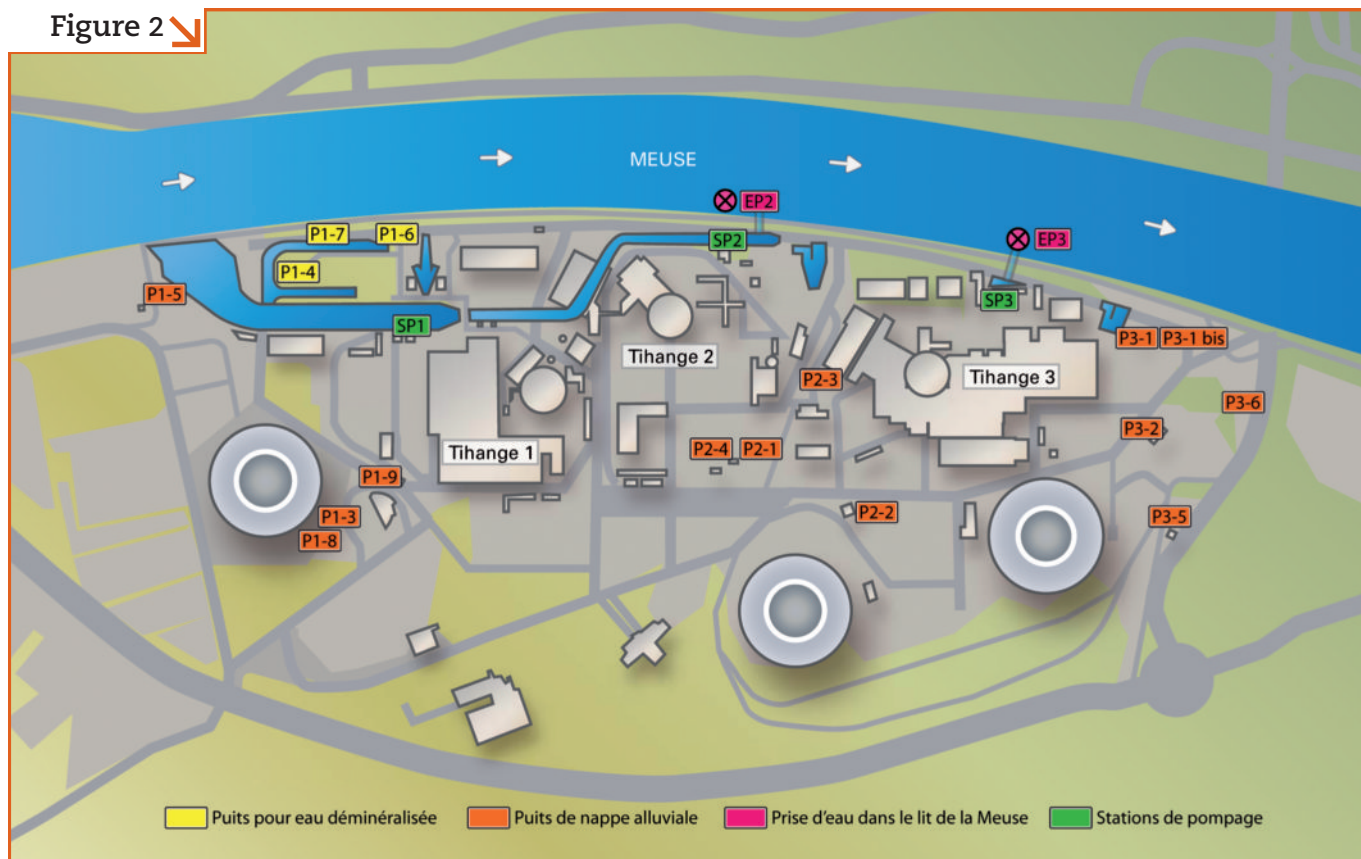


Schéma de principe des sources froides à Tihange.

Sources Froides

Par ailleurs, le site nucléaire de Tihange, situé en bordure de Meuse, dispose de plusieurs sources froides (voir figure 2). En situation normale, les trois unités de Tihange utilisent l'eau de la Meuse, puisée dans un canal d'amenée constituant un bras artificiel du fleuve, comme source froide pour les circuits de refroidissement. En plus de la possibilité de pompage dans le canal d'amenée, les unités de Tihange 2 et 3 disposent d'une prise d'eau profonde dans le lit même du fleuve, permettant d'alimenter le système de refroidissement de ces unités en cas de baisse importante du niveau de la Meuse.

Toutes les unités disposent de plus, en cas de perte de l'eau de Meuse, de puits alimentés par une nappe phréatique. Le site abrite aussi diverses réserves d'eau. Ces différentes sources sont décrites en détail dans les paragraphes traitant de la perte des sources froides.

Il faut également noter que depuis 2011, l'accès à une nappe indépendante et plus profonde que la nappe phréatique constitue une ressource supplémentaire.

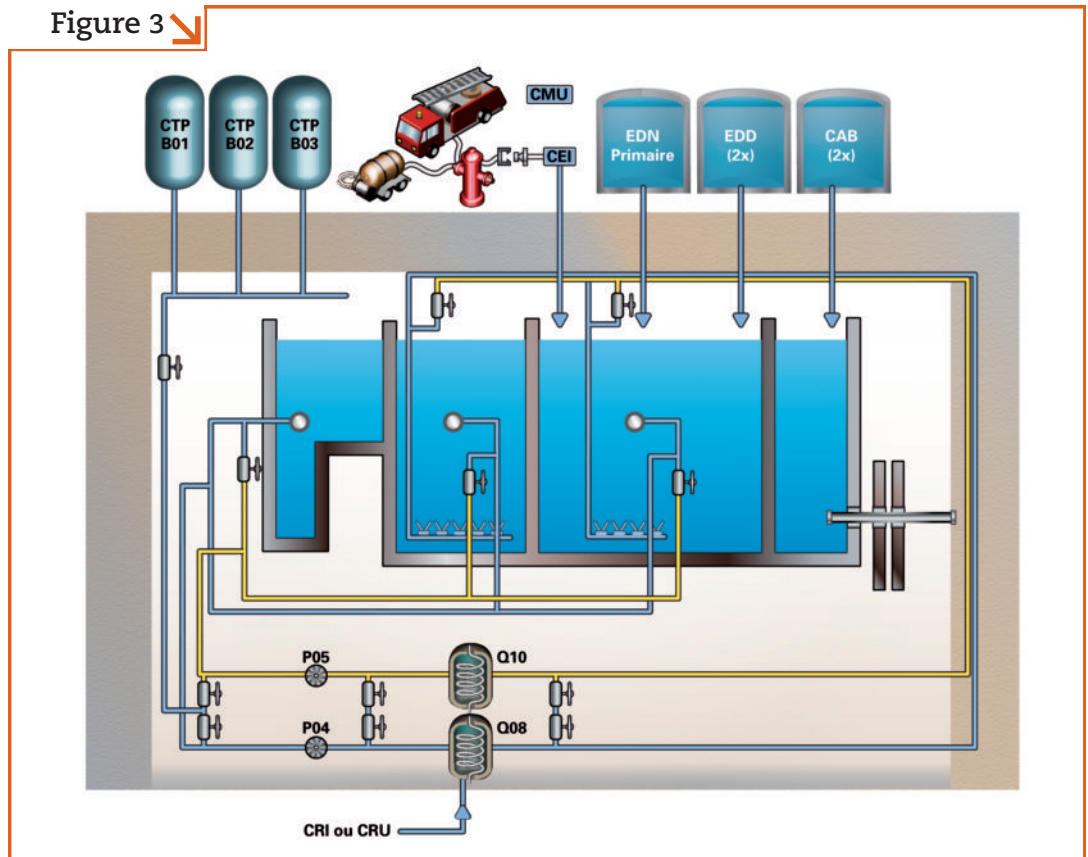
Piscines d'entreposage du combustible usé

Le site dispose de quatre piscines d'entreposage de combustible usé : une piscine par unité pour l'entreposage intermédiaire (dite piscine de désactivation BAN-D) et une piscine commune pour l'entreposage à moyen terme (dite piscine de désactivation DE). Les piscines de désactivation BAN-D accueillent le combustible déchargé du cœur durant une période allant de 2 ans à 5 ans, en fonction des unités, avant son transfert vers la piscine de désactivation du DE. Les différents moyens de refroidissement et d'appoint en eau aux piscines ont été décrits au chapitre 1 (voir figure 3 p. 136).

Les divers circuits et systèmes intervenant au niveau des piscines sont liés au fonctionnement de l'unité, et donc à l'état de cette dernière au moment de la survenue d'un éventuel accident. Dès lors, et pour des raisons de compréhension, les analyses concernant ces piscines de désactivation sont décrites dans les paragraphes consacrés aux unités, en supposant également les différents scénarii examinés ci-dessous.

Schéma de principe pour le refroidissement des piscines. Exemple schéma Tihange 2 et 3 (voir chapitre 1 pour Tihange 1).

Figure 3



Circuit CMU

Dans le cadre des Révisions Périodiques de Sûreté, et notamment de l'étude des conséquences d'une inondation, des moyens complémentaires ont été mis en place à la centrale. Notamment les trois unités disposent d'un circuit (CMU) capable d'alimenter les GV en eau à faible pression après un raccordement effectué manuellement. Ce circuit dispose, pour chaque unité, de son propre groupe Diesel de secours indépendant des groupes Diesel de secours du premier et deuxième niveau. Cependant, la mise en œuvre de ce circuit impose que la pression régnant dans les GV soit de l'ordre de 4 bars, ce qui implique un refroidissement et une dépressurisation du circuit primaire pour que le CMU puisse alimenter les GV.

Scenarii examinés

Les scénarii examinés dans les paragraphes suivants prennent en compte la perte successive des alimentations électriques ou des différentes sources froides, et de ce fait envisagent des situations de plus en plus contraignantes et de moins en moins probables. Il y sera également envisagé le cumul de perte des sources froides et alimentations électriques.

Il est postulé que ces aléas peuvent survenir à tout moment, quel que soit l'état de fonctionnement des unités. Cependant les situations dans lesquelles le circuit primaire est ouvert ou en fonctionnement à inventaire réduit sont limitées dans le temps. La probabilité d'occurrence d'un incident alors qu'une unité se trouve dans l'un de ces états est donc extrêmement faible, et ce quels que soient les incidents ou cumuls d'incidents envisagés. Néanmoins, cette situation a été envisagée lors de l'analyse des différents scénarii.

Seront successivement examinées :

- la perte des alimentations électriques externes (LOOP) ;
- la perte des alimentations électriques externes et alimentation interne de secours de premier niveau (*station black-out*) ;
- la perte des alimentations électriques externes et des alimentations internes de secours de premier et deuxième niveau (*station black-out complet*) ;
- la perte de la source froide principale ;
- la perte des sources froides principale et alternative ;
- la perte de la source froide principale, des alimentations électriques externes et de l'alimentation interne de secours de premier niveau ;
- la perte de la source froide principale, des alimentations électriques externes et des alimentations internes de secours de premier et deuxième niveau ;
- la perte de la source froide principale et des alimentations électriques externes combinée à un séisme DBE.

5.1

Pour les réacteurs nucléaires

5.1.1. Perte des alimentations électriques externes

➤ Les dispositions prises à la conception au niveau de la diversification des sources électriques externes réduisent leur risque de perte simultanée ou successive. Ce chapitre considère néanmoins la perte de toutes ces sources. L'analyse reprise ci-dessous montre que le site dispose de moyens de secours et d'une autonomie suffisante compatible avec le délai de rétablissement d'une alimentation électrique externe ou de réapprovisionnement par l'extérieur.

En cas de perte totale des alimentations électriques externes, chaque unité du site de Tihange dispose de différents niveaux de défense pour assurer l'alimentation de ses auxiliaires – et donc les fonctions de sûreté – ainsi que sa reconnexion ultérieure au réseau 380 kV.

La perte totale des alimentations électriques externes fait partie intégrante du domaine de conception des unités nucléaires. Elle suppose, à Tihange, la perte complète du réseau 380 kV, l'échec de l'îlotage ainsi que la perte du réseau 150 kV. Le principe de gestion sera en priorité de retrouver une alimentation électrique externe et, dans le cas contraire, de maintenir grâce aux sources électriques internes le réacteur dans un état stable et contrôlé, jusqu'au retour d'une alimentation électrique externe.

Suite à la perte des alimentations électriques externes, les dispositifs de maintien des barres de contrôle n'étant plus alimentés, celles-ci chutent dans le cœur du réacteur par simple gravité. Le cœur entre dans un état appelé « sous-critique », c'est-à-dire que la réaction de fission n'est plus entretenue et que la réactivité est sous contrôle. Il subsiste une chaleur dite puissance (chaleur résiduelle qui doit être évacuée.

Les pompes du circuit primaire, trop puissantes (environ 5 MW chacune) pour être secourues par les groupes Diesel de secours, s'arrêtent. Le débit d'eau circulant dans le cœur décroît rapidement et, après l'arrêt complet des pompes du circuit primaire, un débit de circulation naturelle, dû à la convection, subsiste dans ce circuit. Cette circulation naturelle assure l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur. Il convient de noter que cette puissance diminue progressivement avec le temps qui suit l'arrêt du réacteur.

L'arrêt du réacteur provoque celui de la turbine, et la fermeture des vannes d'admission de cette dernière. L'eau alimentaire normale étant perdue, un signal automatique de démarrage du circuit d'eau alimentaire auxiliaire est généré pour assurer une alimentation en eau aux générateurs de vapeur. Ce circuit, constitué de deux motopompes secourues par les groupes Diesel de secours du premier niveau et par une turbopompe alimentée directement par la vapeur produite en sortie des générateurs de vapeur, assure un débit d'eau vers les GV suffisant pour évacuer la chaleur résiduelle du réacteur. La vapeur produite est évacuée par l'ouverture des vannes de contournement à l'atmosphère.

Si la perte des alimentations électriques externes survient alors que l'unité n'est pas dans des conditions permettant l'évacuation de l'énergie résiduelle par les générateurs de vapeurs, le système RRA assure le refroidissement.

Le RRA est alimenté par les groupes Diesel de secours du premier niveau. À Tihange 1, un groupe Diesel alimentant un train RRA suffit à amener et maintenir le réacteur en état d'arrêt à froid. À Tihange 2 et Tihange 3, deux groupes Diesel et deux trains RRA sont nécessaires pour refroidir le réacteur jusqu'à l'état d'arrêt à froid.

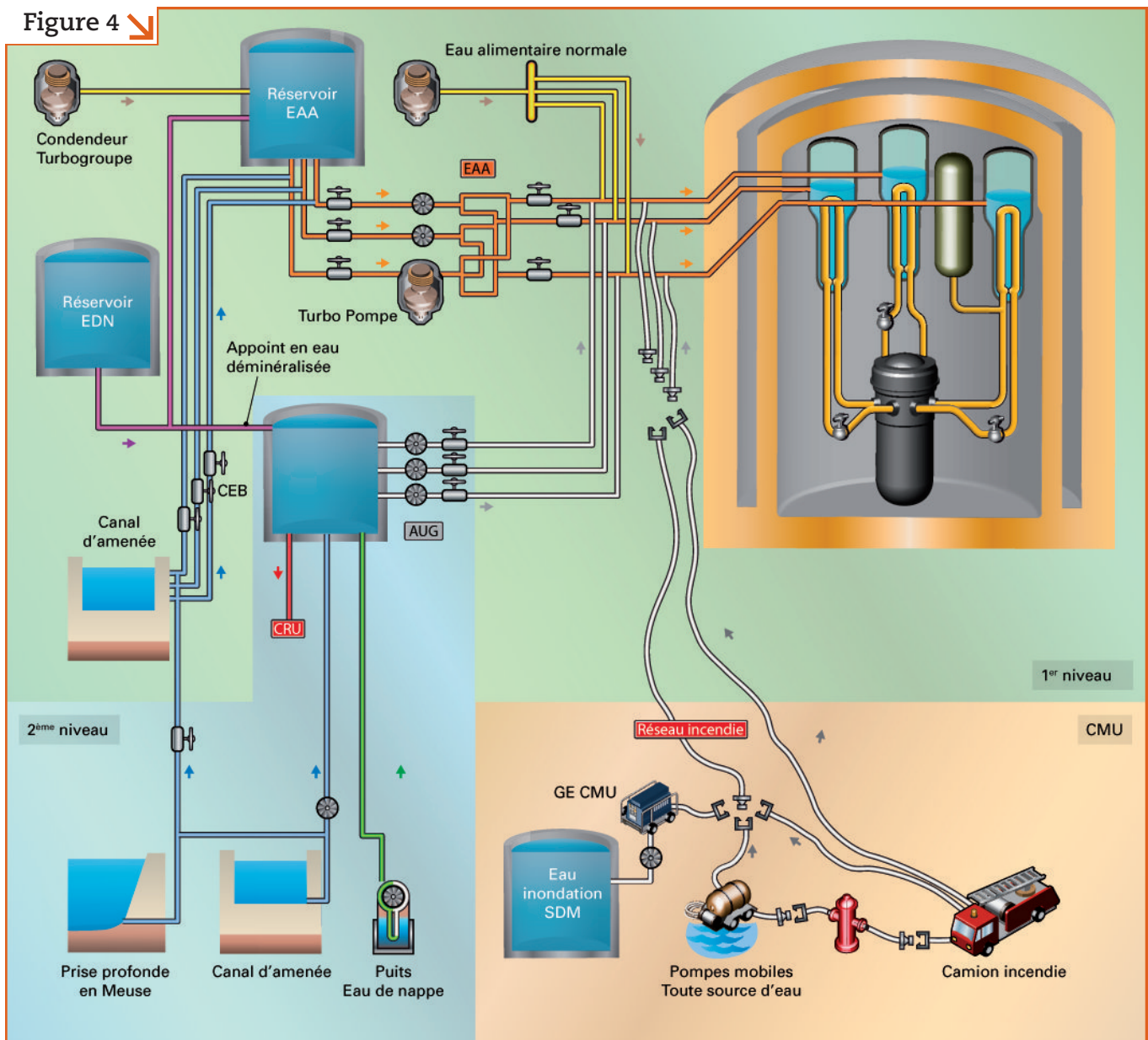
Ces équipements de sauvegarde sont surveillés et testés régulièrement. Un programme d'entretien et d'essai est défini afin de s'assurer de leur disponibilité et fiabilité.

En résumé, la réalimentation par les sources électriques internes permettra de maintenir les principales fonctions suivantes :

- l'appoint en eau aux générateurs de vapeur par deux motopompes et une turbopompe (pas d'alimentation électrique nécessaire) (voir figure 4);
- le maintien d'un appoint en eau borée au circuit primaire afin de compenser la contraction du contenu en eau de ce dernier lors de la phase de refroidissement, et de contrôler la réactivité du cœur pour le garder dans un état sous-critique;
- le maintien du refroidissement des joints des pompes du circuit primaire;
- le maintien du refroidissement du cœur par le circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA).

Les pompes CTP (STP pour le DE) assurent le refroidissement des piscines CTP (et DE) via les échangeurs.

Figure 4 ↘



Possibilité d'appoints aux GV à Tihange 2-3.
(Pour Tihange 1, voir chapitre 1).

Après la perte des alimentations électriques externes, seront successivement entrepris, en cas d'échec ou indisponibilité de la solution précédente :

- l'ilotage automatique d'un ou de deux groupe(s) turboalternateur(s), suivant l'unité affectée, par les automatismes électriques. L'unité alimente alors l'ensemble de ses auxiliaires. Cela suppose évidemment qu'elle soit en production au moment de la perte des alimentations externes ;
- la mise en route des groupes Diesel de secours (GDS) dits du « premier niveau », dont l'autonomie suffit à alimenter les auxiliaires de l'unité bien au-delà de 72 heures, sans appoint extérieur ;
- la mise en route des groupes Diesel de secours dits « du deuxième niveau » à Tihange 2 et 3 (GDU), de l'ultime repli à Tihange 1 (GUS-DUR), utilisés en cas de perte des alimentations électriques externes et des groupes Diesel de premier niveau (*voir paragraphe 5.1.2 p. 143*) ;
- la réalimentation des unités par la station de Coe comme décrit ci-dessus ou pour toute autre source électrique externe. Cette option n'est cependant pas instantanée et demande un délai de mise en œuvre, contrairement aux démarrages automatiques des groupes Diesel de secours.

À la suite des actions de sauvegardes automatiques, l'équipe de quart suit des procédures permettant d'amener le réacteur en état stable et contrôlé.

Les actions de l'équipe de conduite consistent à refroidir et dépressuriser le circuit primaire tout en contrôlant la réactivité du cœur par des appoints en eau borée.

Les équipes de conduite suivent régulièrement des recyclages sur simulateur. Durant ces séances, des scénarii supposant la mise à l'arrêt de l'unité ou la perte partielle ou totale des alimentations électriques sont utilisés.

Les autonomies annoncées ci-dessous concernent la situation où chaque unité doit utiliser ses propres réserves, ce qui représente l'hypothèse la plus pénalisante. En cas d'incident sur moins de trois unités, les réserves totales du site seront utilisées *via* des moyens externes pour l'unité (ou les unités) affectée(s), et permettront donc d'augmenter ces autonomies. Les calculs d'autonomie prennent également en compte le calcul des consommations d'huile des groupes Diesel de secours.

Les principales réserves en gazole du site sont exposées dans le tableau 1 (*voir p. 141*). Il faut y ajouter le carburant présent dans le réservoir journalier de chaque groupe, contenant de 1,5 à 3 m³.

5.1.1.1. Dispositions de conception

Tihange 1

Le cas de la perte totale des alimentations externes est couvert par la conception de l'unité. Les différentes actions automatiques assurent la protection du réacteur et l'évacuation de la chaleur résiduelle : arrêt du réacteur, démarrage des circuits d'eau alimentaire auxiliaire et des circuits de refroidissement.

En cas d'échec de l'ilotage des deux groupes turboalternateurs de l'unité, et jusqu'à ce qu'une alimentation externe puisse être rétablie, les auxiliaires ayant une fonction de sûreté nucléaire et assurant la mise à l'arrêt stable et contrôlé de l'unité sont alimentés par des sources internes. Il s'agit de deux groupes Diesels de secours de premier niveau (GDS) d'une puissance de 3552 kW chacun (puissance en régime continu) et refroidis par l'eau de Meuse ou par la nappe phréatique *via* le circuit d'eau brute (CEB). Un seul d'entre eux suffit à alimenter les auxiliaires nécessaires. Cette redondance est un facteur de sûreté supplémentaire. Ces groupes sont dimensionnés pour la mise à l'arrêt de l'unité dans le cas le plus défavorable en terme de charge. Ils disposent d'un réservoir de gazole leur assurant une autonomie de 3,5 jours dans cette circonstance extrême, beaucoup plus pénalisante et radicalement différente d'une perte des alimentations électriques externes. En cas de perte des alimentations externes sans autre incident, le scénario examiné ici, l'autonomie des deux groupes Diesels de secours suffit à alimenter tous les auxiliaires nécessaires durant plus de 20 jours, sans aucun appoint extérieur. Les calculs et hypothèses pour l'estimation de cette marge sont succinctement décrits au paragraphe 5.1.1.2.

Comme déjà mentionné, l'unité dispose également d'une alimentation électrique d'ultime repli (GUS et DUR) qui n'est pas strictement nécessaire en cas de perte des alimentations électriques externes. Néanmoins, ces alimentations augmentent encore l'autonomie du site (bien que celle-

ci soit suffisante en utilisant uniquement les groupes Diesel de secours premier niveau). Il en est de même pour le groupe Diesel de réserve (GDR).

Tihange 2 et 3

Le cas de la perte totale des alimentations externes est couvert par la conception de ces unités. Différentes actions automatiques assurent la protection du réacteur et l'évacuation de la chaleur résiduelle : arrêt du réacteur, démarrage des circuits d'eau alimentaire auxiliaire et des circuits de refroidissement.

En cas d'échec de l'ilotage de l'unité concernée, et jusqu'à ce qu'une alimentation externe puisse être rétablie, les auxiliaires ayant une fonction de sûreté nucléaire et assurant la mise à l'arrêt stable et contrôlé de l'unité sont alimentés par des sources internes. Il s'agit de trois groupes Diesel de secours de premier niveau (GDS) d'une puissance unitaire de 5 040 kW (puissance en régime continu) et refroidis par l'eau de Meuse *via* le circuit d'eau brute (CEB). Deux d'entre eux sont nécessaires pour amener le réacteur en état d'arrêt stable et contrôlé et l'y maintenir. Chaque groupe Diesel de secours est indépendant, physiquement et électriquement séparé des deux autres de telle manière qu'un défaut ou incident sur un groupe n'entraîne pas de conséquence pour les deux autres.

Ces groupes sont dimensionnés pour la mise à l'arrêt de l'unité dans le cas le plus défavorable en terme de charge. Ils disposent de réservoir de combustible assurant une autonomie d'au moins 7 jours pour deux groupes Diesel dans cette circonstance extrême, beaucoup plus pénalisante et radicalement différente d'une perte des alimentations électriques externes de l'unité.

En cas de perte des alimentations électriques externes sans autre incident, le scénario examiné ici, l'autonomie des groupes Diesel de secours suffit à alimenter tous les auxiliaires nécessaires durant plus de 25 jours, sans aucun appoint extérieur. Les calculs et hypothèses pour l'estimation de cette marge sont succinctement décrits plus bas.

Comme déjà mentionné, chacune de ces unités dispose également d'une alimentation électrique de secours de deuxième niveau (GDU) qui n'est pas strictement nécessaire en cas de perte des alimentations électriques externes. Néanmoins, ces alimentations augmentent encore l'autonomie du site (bien que celle-ci soit suffisante en utilisant uniquement les groupes Diesel de premier niveau). Il en est de même pour le Diesel de réserve (GDR).

Plusieurs unités affectées

La gestion de l'accident sera identique à celle où une seule unité est affectée, étant donné que pour ce scénario, seuls les équipements et réserves propres à chaque unité sont utilisés à court terme (au moins 3,5 jours pour Tihange 1 et une semaine pour Tihange 2 et 3).

5.1.1.2. Autonomie

Tihange 1

L'unité possède un réservoir de gazole de 80 m³ utiles – dont 70 m³ réglementaires – par groupe Diesel de premier niveau, ce qui confère une autonomie de 3,5 jours pour chaque groupe, sans aucun appoint aux réservoirs et pour un fonctionnement à 100 % de charge. Rappelons qu'il s'agit de l'autonomie de conception dans le cas le plus défavorable en terme de charge. Chaque groupe est considéré comme un système entièrement autonome et couvre la totalité de l'alimentation électrique d'un train.

En utilisant uniquement les équipements nécessaires au refroidissement de l'unité en cas de perte de l'alimentation externe (LOOP) sans autre incident, cette durée est de 4,5 jours en considérant le refroidissement de l'unité et le passage de l'AAC à l'AAF.

L'utilisation du gazole contenu dans la bache CVA B01Hc (*voir ci-contre*) confère une autonomie d'environ 20 jours. Cette estimation est basée sur un contenu de la bache de 330 m³ (en moyenne 390 m³ disponibles dans le réservoir) alors qu'elle a une capacité utile de 470 m³.

Après réduction de la charge aux seuls équipements requis pour le maintien de l'unité en AAF, l'huile disponible au niveau du GDS et du stock de sécurité présent sur le site (environ 6 000 l

La bache CVA B01Hc

La bache CVA B01Hc est un réservoir de gazole propre à Tihange 1, destiné à la chaudière vapeur auxiliaire et aux groupes Diesel.

Tableau 1 ↘

Réerves en gazole du site

Les réserves complémentaires de gazole contenues dans les réservoirs CVA ne sont pas valorisables en cas de séisme étant donné que ces derniers ne sont pas qualifiés au séisme.

Unité	Réservoir Fuel	Capacité	Capacité STE	Contenu réel*
Tihange 1	GDS-1B01FD	80 m ³	70 m ³	76 m ³
	GDS-2B01FD	80 m ³	70 m ³	76 m ³
	CVA B01Hc	470 m ³	-	378 m ³
	Total			530 m³
Tihange 2	GSC B01	170 m ³	157 m ³	164 m ³
	GSC B02	170 m ³	157 m ³	164 m ³
	GSC B03	170 m ³	157 m ³	164 m ³
	GRC B03	170 m ³	-	164 m ³
	GUC B01	185 m ³	140 m ³	180 m ³
	Total			836 m³
Tihange 3	GSC B01	170 m ³	150 m ³	160 m ³
	GSC B02	170 m ³	150 m ³	155 m ³
	GSC B03	170 m ³	150 m ³	157 m ³
	GUC B01	185 m ³	140 m ³	157 m ³
	CVA B08	600 m ³	--	330 m ³
	Total			959 m³
Capacité totale sur le site				2 325 m³

* Contenu réel donné à titre indicatif (fin mai 2011).

pour les trois unités), confère une autonomie de plus de deux semaines. **Des procédures seront amendées afin d'anticiper les appoints en huile aux groupes Diesel.**

Tihange 2 et 3

La capacité totale de stockage en combustible pour les groupes Diesels de secours de premier niveau est de :

- trois réservoirs de 170 m³ utiles, dont 157 m³ réglementaires par réservoir à Tihange 2 ;
- trois réservoirs de 170 m³ utiles, dont 150 m³ réglementaires par réservoir à Tihange 3 ;
- un réservoir de 170 m³ utiles pour le groupe de réserve commun (GDR). En pratique, le volume de gazole disponible dans le GRC est supérieur au volume réglementaire.

Le contenu relevé dans ces réservoirs est repris dans le tableau 1 ci-dessus.

Il existe d'autre part une liaison manuelle de secours avec la tuyauterie de transfert de gazole des groupes Diesel d'ultime secours dont le réservoir de stockage principal a une capacité de 185 m³.

Une autonomie de 7 jours est donc disponible sans aucun appoint aux réservoirs de gazole et pour un fonctionnement à 100 % de charge de deux groupes Diesel par unité, dans le cas le plus défavorable en terme de charge.

En utilisant uniquement les équipements nécessaires au refroidissement de l'unité en cas de perte de l'alimentation externe (LOOP) sans autre incident, cette durée est d'environ 15 jours si l'on inclut le refroidissement de l'unité de l'AAF à l'AAF. De plus, en utilisant le gazole restant dans la bâche CVA B08 (voir ci-contre) grâce à des moyens externes car la pompe de transfert n'est pas secourue, cette durée passe à environ 25 jours. La présente estimation est basée sur un contenu moyen de 330 m³, réparti de manière égale entre les deux unités. Ce réservoir a en fait une capacité de 600 m³.

En ce qui concerne l'huile, chaque groupe Diesel est équipé de son propre train de remplissage et de vidange, et d'un réservoir de stockage de 2000 litres. L'autonomie à pleine puissance est de 7 jours. Cela suppose une intervention du personnel, pour ajuster le niveau du carter, toutes les 28 heures en fonctionnement à puissance nominale. **Des procédures seront amendées afin d'anticiper l'appoint en huile aux groupes Diesel.**

La bâche CVA B08

La bâche CVA B08 est un réservoir de gazole commun à Tihange 2 et 3, destiné à la chaudière de vapeur auxiliaire et aux groupes Diesel.

Ce type de fonctionnement est requis dans le cas le plus défavorable en terme de charge. Dans le cas où l'on utilise uniquement des équipements nécessaires au refroidissement de l'unité depuis l'AAC vers l'AAF, le stock de sécurité disponible sur le site (environ 6 000 litres) confère une autonomie de plus de deux semaines, dans l'hypothèse la plus pénalisante où toutes les unités du site fonctionnent sur leurs groupes Diesel de secours.

5.1.1.3. Dispositions permettant de prolonger la durée d'utilisation des alimentations électriques internes

Pour prolonger l'autonomie des sources électriques propres du site, on utilise essentiellement les réserves de gazole et d'huile disponibles dans les réservoirs communs, dans ceux des groupes Diesel non disponibles ou non nécessaires au maintien de l'arrêt stable et prolongé, et dans les magasins du site (transfert *via* des moyens internes ou externes). Dans cette situation, la centrale étant à l'arrêt stable et contrôlé, les besoins énergétiques sont ceux requis pour la maintenir dans cet état, et non pour l'y amener comme lors des premières heures suivant l'événement initial. En particulier, les groupes fonctionnent à charge réduite, ce qui diminue fortement leur consommation.

Il faut noter qu'une procédure commune aux trois unités s'applique en cas de problème de longue durée avec le réseau extérieur, de réseau instable ou de *black-out*. Elle comprend un certain nombre de directives qui peuvent être utiles en cas d'absence prolongée d'alimentation électrique externe.

L'approvisionnement en gazole du site se fait selon une procédure interne.

La fourniture de gazole est régie par un contrat qui prévoit une livraison sur site dans un délai maximal de 25 heures.

Tihange 1

Approvisionnement en gazole

Comme mentionné ci-avant, l'unité dispose d'une série de réservoirs (journalier, stockage) reliés directement au circuit d'alimentation des GDS. Les réservoirs de stockage (GDS-1B01FD et GDS-2B01FD) peuvent être remplis par appoint direct ou par appoint gravitaire *via* une tuyauterie de remplissage reliée à la bache CVA B01 Hc.

La consommation quotidienne mentionnée dans le tableau 2 ci-contre est une enveloppe, valable pour chaque groupe Diesel de premier niveau.

L'appoint minimal, calculé sur la base de la consommation des groupes fonctionnant à la puissance requise pour le maintien de la centrale en AAF, est d'environ 15 m³/jour.

En utilisant uniquement les groupes Diesels de premier niveau et leurs réservoirs respectifs, les réserves sont largement suffisantes pour fonctionner pendant plus de 72 heures. Aucun appoint extérieur n'est donc nécessaire endéans ce délai (*voir paragraphe 5.1.1.2*).

Approvisionnement en huile

La consommation en huile est de 2,7 g/kWh soit 10 kg/h à 100 % de charge. Après épuisement des réserves disponibles, il faut fournir environ 270 l par jour à chaque groupe Diesel de premier niveau pour assurer un fonctionnement à 100 %. Ce régime de fonctionnement est requis dans le cas le plus défavorable en terme de charge. Ce scénario est radicalement différent d'une perte des alimentations électriques externes.

L'appoint minimal, calculé sur la base de la consommation des groupes fonctionnant à la puissance requise pour le maintien de la centrale en AAF, est d'environ 175 litres par jour. Aucun appoint extérieur n'est nécessaire endéans les 72 heures.

Tihange 2 et 3

Approvisionnement en gazole

Comme mentionné au paragraphe 5.1.1.2, chaque unité dispose d'une série de réservoirs (journalier, stockage) reliés directement au circuit d'alimentation des GDS. Les réservoirs de stockage (GSC B01-02-03) peuvent être remplis directement *via* une

Tableau 2 ↘

Consommation enveloppe des Groupes Diesels 1^{er} niveau Tihange 1

Charge	m ³ /jour par Diesel
100 %	23
75 %	18
50 %	13
25 %	7

Tableau 3 ↘

Consommation enveloppe des Groupes Diesels 1^{er} niveau Tihange 2 et 3

Charge	m ³ /jour par Diesel
100 %	34
75 %	25
50 %	18
25 %	10

tuyauterie prévue à cet effet ou en transférant le gazole contenu dans le réservoir CVA B08 par des moyens mobiles extérieurs au site (les pompes de transfert n'étant pas secourues).

La consommation quotidienne mentionnée dans le tableau 3 ci-contre est enveloppe, valable pour chaque groupe Diesel de premier niveau.

L'appoint minimal, calculé sur la base de la consommation des groupes fonctionnant à la puissance requise pour le maintien de la centrale en AAF, est d'environ 20 m³/jour.

En utilisant uniquement les groupes Diesels de premier niveau et leurs réservoirs respectifs, les réserves sont plus de cinq fois supérieures à la quantité nécessaire pour fonctionner pendant 72 heures. Aucun appoint extérieur n'est donc nécessaire endéans ce délai (*voir paragraphe 5.1.1.2*).

Approvisionnement en huile

La consommation en huile des groupes Diesel de premier niveau est de 2 g/kWh soit 10,5 kg/h à pleine charge. Après épuisement des réserves disponibles, il faut fournir environ 280 l par jour à chaque groupe pour assurer un fonctionnement à 100 %. Ce régime de fonctionnement est requis dans le cas le plus défavorable en terme de charge, scénario radicalement différent d'une perte des alimentations électriques externes.

L'appoint minimal, calculé sur la base de la consommation des groupes fonctionnant à la puissance requise pour le maintien de la centrale en AAF, est d'environ 170 litres par jour. Aucun appoint extérieur n'est nécessaire endéans les 72 heures.

5.1.1.4. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

Modification ou création de procédures

- À Tihange 1, les appoints d'huile se font directement au niveau du carter des groupes Diesel, à partir de fûts. Par ailleurs, l'unité dispose d'un réservoir d'appoint en huile pour les GDS (environ 2000 l). Une analyse sera effectuée afin d'envisager une réserve minimum dans ce réservoir. De plus des procédures doivent être amendées afin d'anticiper l'appoint en huile aux différents groupes Diesel (applicable pour les trois unités);
- En cas de perte prolongée du réseau extérieur et d'impossibilité d'approvisionnement en gazole et en huile, il est nécessaire de minimiser la consommation des groupes Diesel de secours. À cette fin, une procédure définissant les charges non essentielles en situation de repli est à prévoir pour les trois unités.

5.1.2. Perte des alimentations électriques externes et des alimentations internes de secours

Ce chapitre considère la perte de toutes les alimentations électriques externes et internes du premier niveau. Dans ces circonstances, les unités disposent d'un deuxième niveau de protection (à Tihange 2 et 3, et dit Ultime repli à Tihange 1) qui permet de maintenir le réacteur dans un état stable et contrôlé et de conserver un refroidissement des piscines. L'analyse reprise ci-dessous montre que le site dispose de moyens de secours d'une autonomie compatible avec le délai de rétablissement d'une alimentation électrique externe ou d'un réapprovisionnement de l'extérieur.

5.1.2.1. Dispositions de conception

Ce scénario, dit *station black-out*, suppose que se produise successivement ou simultanément :

- la perte du réseau extérieur (lignes 380 kV et 150 kV, voir début chapitre 5);
- l'échec de l'îlotage;
- la perte de Diesel de secours de premier niveau.

Une telle situation conduit à se replier sur le système d'ultime secours, un niveau de protection supplémentaire propre au site de Tihange. L'analyse effectuée ci-dessous prend également en compte l'identification d'éventuels effets falaise.

L'autonomie des différents systèmes, estimée sur la base des moyens et réserves disponibles sur le site de Tihange, est reprise ci-dessous. Les autonomies annoncées concernent la situation où chaque unité doit utiliser ses propres réserves, ce qui représente l'hypothèse la plus pénalisante. En cas d'incident sur moins de trois unités, les réserves totales du site seront utilisées *via* des moyens externes pour la ou les unités affectées, ce qui augmentera d'autant l'autonomie.

Note: le groupe GDR est lui aussi considéré comme indisponible, pour des raisons de cohérence du scénario.

Tihange 1

Les études de réévaluation entreprises à l'occasion de la première Révision Périodique de Sûreté de Tihange 1 ont conduit à la définition d'un système permettant de faire face à des événements non pris en considération lors la conception initiale de la centrale.

Le système d'ultime repli (SUR) vient ainsi compléter les systèmes installés dès l'origine, et vise plusieurs objectifs, dont le passage et maintien en arrêt stable et contrôlé (arrêt intermédiaire aux conditions du RRA) en cas de perte totale des alimentations électriques externes et internes. Le scénario de *station black-out* fait donc appel à ce système d'ultime repli.

Le SUR comprend deux sources d'alimentation électrique, qui démarrent automatiquement dans un délai inférieur à une minute après la perte de tension :

- a) le turboalternateur d'ultime secours (GUS), d'une puissance de 80 kW, disponible si au moins un GV est opérationnel et qui fonctionne si la température d'eau dans le circuit primaire dépasse 180 °C;
- b) le groupe Diesel d'ultime repli (DUR) d'une puissance de 288 kW (puissance en régime continu), et refroidi par un échangeur eau/air. Ces deux équipements de repli sont situés dans le bâtiment BUR (Bâtiment d'Ultime Repli) et alimentent les équipements en courant à 380 V. Pour disposer d'une alimentation en 6 kV et pouvoir passer aux conditions d'arrêt à froid, il faut récupérer un groupe de premier niveau (GDS-GDR) ou une alimentation électrique externe.

Le GUS et le DUR réalimentent plusieurs équipements dont :

- un des deux compresseurs d'air de régulation ultime (CAU);
- la pompe d'injection aux joints des pompes primaires (Pompe PIS);
- des chaufferettes de pressuriseur;
- des ventilateurs;
- des pompes d'eau de nappe et d'eau déminéralisée;
- une pompe d'appoint CTP (P4Bd);
- les batteries de la TPA-EAS;
- les régulations et contrôle-commande du SUR.

Ces équipements sont surveillés et testés régulièrement. Un programme d'entretien et d'essais est défini afin de s'assurer de leur disponibilité et de leur fiabilité.

La capacité du réservoir de gazole du DUR (réservoir de 500 l dans le BUR) confère une autonomie de 7 heures et demie. Une réalimentation manuelle en gazole est ensuite requise, et peut être effectuée par gravité à partir du réservoir CVA B01Hc, d'une capacité utile de 470 m³. L'utilisation de cette réserve porte l'autonomie à plus de 200 jours, ce qui excède très largement le temps nécessaire à la reconstitution d'une alimentation externe – ou à l'installation et au démarrage de groupes Diesel classiques.

La consommation d'huile est de 0,12 l/h et la capacité en huile du réservoir est de 38,6 l. Ce réservoir et la réserve d'huile (600 l) sur site confèrent une autonomie en huile de plusieurs semaines.

La perte des alimentations électriques externes et des groupes Diesel de secours de premier niveau est intégrée dans les bases de conception de la centrale. L'analyse ci-dessous suppose qu'une seule unité est affectée. Différents états initiaux de l'unité seront envisagés.

Générateurs de vapeur disponibles

La tranche est amenée et maintenue en arrêt intermédiaire, dit état de repli, comme suit :

- inventaire massique en eau du circuit primaire maintenu par la pompe de secours d'injection

aux joints des pompes primaires (PIS), qui s'alimente dans la bache CIS-B01Bi (capacité minimale disponible de 1 330 m³ selon les spécifications techniques, capacité réelle de 1 650 m³). L'injection est réalisée avec la PIS vers le circuit primaire. Une décharge d'eau est possible *via* le circuit de soutirage excédentaire. L'échangeur de ce circuit est refroidi par de l'eau de nappe (seule source froide disponible dans ce cas);

- pression dans le circuit primaire maintenue par les chaufferettes du pressuriseur, alimentée par les tableaux du Système d'Ultime Repli;
- évacuation de la chaleur résiduelle du cœur par convection vers les générateurs de vapeur (GV);
- l'eau secondaire qui s'évapore dans les GV est évacuée vers l'atmosphère par les VDA;
- les GV sont alimentés par la turbopompe EAS qui puise dans la bache EAS (120 m³);
- l'autonomie de la bache EAS sans appoint est de 60 minutes;
- un appoint automatique (vanne à flotteur) à la bache EAS en eau déminéralisée est assuré par une pompe EDN, secourue par le SUR, depuis les baches interconnectées EDN-B10Dd1 et 2 (240 m³ utiles chacune). Cet appoint augmente l'autonomie d'au moins 4 heures;
- un appoint à la bache EAS, par de l'eau de nappe, est assuré par une des deux pompes d'eau de nappe secourues par le SUR. L'autonomie de la bache EAS, avec sa réalimentation automatique en EDN, est suffisante pour permettre avant son épuisement un raccordement manuel du circuit d'eau de nappe. Un appoint supplémentaire à cette bache est rapidement disponible *via* le réseau CEI qui est alimenté par la motopompe Diesel d'incendie (mise en place de flexibles sur des piquages existants).

Le passage à l'arrêt à froid (AAF) n'est pas possible. Le GUS et le DUR n'étant pas des sources électriques de 6 kV, ils ne peuvent en effet pas alimenter les pompes du système de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA). Il faut donc rester sur GV – ce qui suppose une température du circuit primaire d'environ 180 °C pour permettre le fonctionnement de la TPA – tant qu'on n'a pas récupéré d'alimentation en 6 kV pour ces pompes.

Il n'y a pas d'effet falaise pour ce scénario. Le circuit d'eau de nappe a une autonomie d'au moins 30 jours en considérant une seule unité affectée. Cette autonomie dépasse largement le délai d'arrivée de matériels ou d'eau en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site.

La pompe PIS qui puise dans le réservoir B01Bi pour refroidir les joints des pompes primaires a une autonomie de plus de 10 jours. C'est une durée suffisante pour mettre en œuvre des moyens non conventionnels (réalimentation du B01Bi *via* la liaison extérieure du circuit CMU).

Les capacités en gazole et huile disponibles sur l'unité permettent une autonomie de plusieurs semaines (décrit précédemment), ce qui couvre largement le délai d'arrivée de matériels ou de consommables en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site.

Circuit primaire ouvert

Dans ce cas, le système de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA) reste connecté mais n'est pas opérationnel puisqu'il exige une tension de 6 kV.

S'il est possible de fermer le circuit primaire, la procédure de gestion de l'accident prévoit de retourner sur GV en laissant le circuit primaire chauffer jusqu'à récupérer le fonctionnement de la turbopompe EAS. La suite est décrite ci-dessus (générateurs de vapeur disponibles).

Si on ne peut pas fermer le circuit primaire, il reste possible de réaliser une opération de gavé – ouvert. Dans ce cas, la pompe CTP-P04Bd puise l'eau froide dans le B01Bi, et l'extraction de vapeur est assurée par un ventilateur VBP vers la cheminée et les systèmes de filtration du VBP.

Le temps de réaction requis dépend de l'inventaire en eau dans le circuit primaire, piscine réacteur comprise. En cas d'inventaire réduit, par exemple en situation d'« arrêt à inventaire réduit » (*voir ci-contre*), la plus pénalisante, un appoint gravitaire à partir du réservoir B01Bi *via* une des lignes d'injection au circuit primaire est requis. Ensuite, la pompe CTP-P04Bd – et si nécessaire la PIS – assure l'appoint au circuit primaire. La réserve du B01Bi permet de tenir au moins 72 heures.

Il n'y a pas d'effet falaise pour ce scénario. L'appoint à partir du réservoir B01 Bi est en effet suffisant pour fonctionner au moins 72 heures Cette autonomie couvre le temps d'arrivée de matériels ou d'eau en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur. Une liaison extérieure permet de venir connecter un camion-citerne contenant de l'eau borée pour réaliser un appoint au réservoir B01Bi.

Principe gavé-ouvert

Il s'agit, lorsque l'unité est en arrêt pour rechargement, circuit primaire ouvert, de compenser l'évaporation de l'eau contenue dans le circuit primaire (évacuation de la chaleur résiduelle dans l'enceinte) par différents appoints d'eau en situation accidentelle. En situation extrême, lorsque le circuit primaire est fermé, ce type de gestion est également applicable après ouverture d'un exutoire de vapeur du circuit primaire.



Arrêt à inventaire réduit

Lors de l'arrêt de tranche pour rechargement, il est nécessaire de passer par un état dans lequel le niveau d'eau dans le circuit primaire est réduit pour permettre certaines manœuvres d'exploitation.

Les autonomies en gazole et huile, données précédemment, permettent largement d'attendre l'arrivée de matériels ou consommables en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site.

Piscine de désactivation

Dans ce scénario, la piscine de désactivation n'est pas refroidie par les échangeurs CTP (les pompes du circuit normal de traitement des piscines CTP-P01Bd 1 et 2 ne sont pas secourues par le SUR). **Une analyse de la possibilité d'une réalimentation de secours des pompes CTP par le SUR sera effectuée (cette possibilité est en cours d'analyse dans le cadre du projet LTO).**

Les combustibles qui s'y trouvent restent refroidis par l'inventaire d'eau présent dans la piscine. L'évaporation commence environ 40 heures après la perte du refroidissement normal. Dans ces conditions, la situation à éviter est le découvrement des assemblages (délai d'au moins deux semaines sans appoint d'eau), afin d'éviter l'endommagement du combustible nucléaire. Des appoints à la piscine désactivation, mis en œuvre en quelques heures par des moyens conventionnels ou non conventionnels, permettent de maintenir le combustible sous l'eau. Ils se font à partir du réservoir B01Bi, soit par simple gravité, soit par la pompe P04Bd (alimentée par le DUR). Pour la réalimentation du réservoir B01Bi, une liaison extérieure permet de venir connecter un camion-citerne contenant de l'eau borée. Il est également possible, en dernier recours, d'effectuer un appoint au réservoir B01Bi ou directement à la piscine par le réseau incendie. Il n'y a pas d'effet falaise. **Les procédures actuelles du SUR seront amendées afin d'assurer un appoint et une évacuation de la vapeur.**

Cœur complètement déchargé

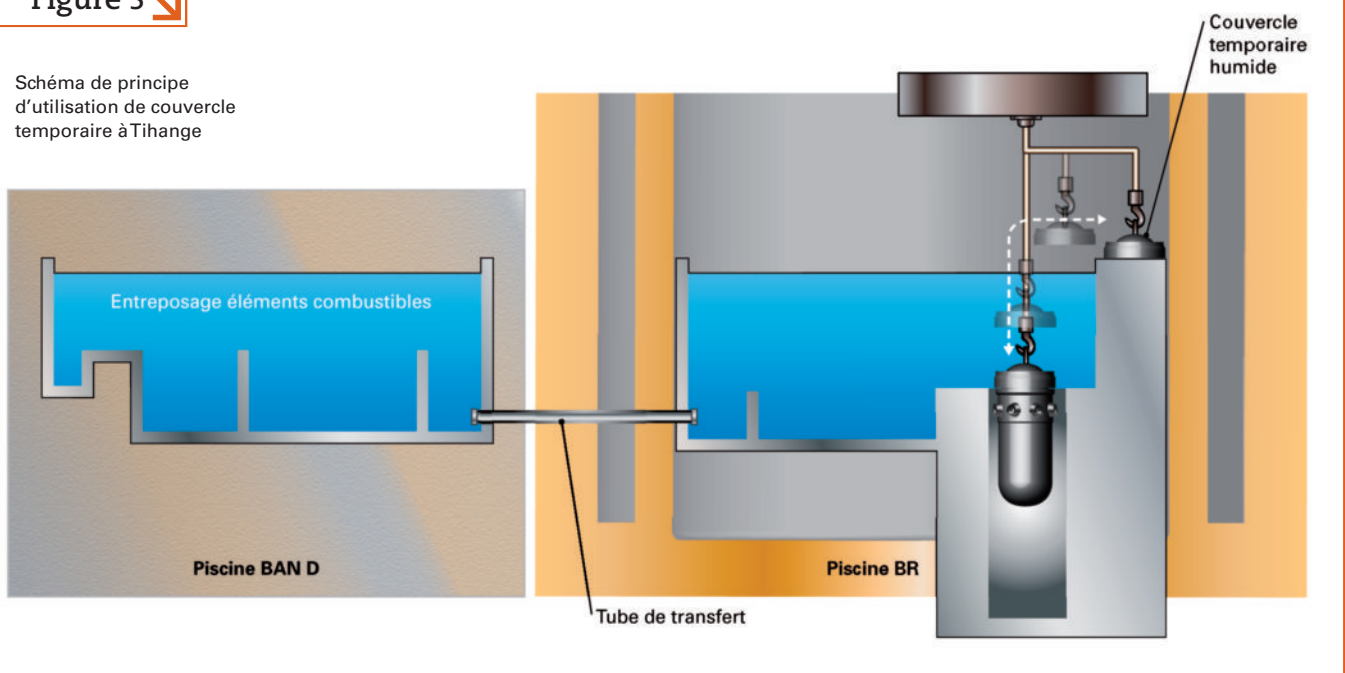
Dans cette situation, il n'y a plus à refroidir le circuit primaire. En revanche, les assemblages de combustible fraîchement sortis du cœur reposent dans la piscine de désactivation. La stratégie dans ce type de scénario est de compenser l'évaporation dans cette piscine par appoint d'eau froide avec la particularité que, dans ce cas, la chaleur résiduelle à évacuer est plus importante.

Le principe de gestion reste identique à celui défini dans le cas précédent.

En théorie, en l'absence du refroidissement (perte des pompes CTP) et sans appoint d'eau, le délai avant le découvrement des assemblages serait d'au moins 4 jours (tube de transfert du combustible fermé).

Figure 5

Schéma de principe d'utilisation de couvercle temporaire à Tihange



En pratique, le site utilise un couvercle temporaire sur la cuve du réacteur après déchargement complet du cœur (voir figure 5 page précédente). Ce dernier permet de vider partiellement le CRP tout en maintenant la piscine BR remplie. L'important volume d'eau contenu dans les piscines BR et BAN D, qui restent alors connectées (tube de transfert du combustible ouvert), augmente considérablement leur inertie thermique, maintenant le combustible sous eau pendant au moins 9 jours.

L'appoint à la piscine de désactivation peut se faire à partir du réservoir B01Bi, soit par simple gravité, soit par la pompe P04Bd (alimentée par le DUR). Si celui-ci est vide, une liaison extérieure permet de faire un appoint en eau vers le B01Bi ou directement vers la piscine. Il est également possible, en dernier recours, d'apporter de l'eau par le réseau incendie. Il n'y a pas d'effet falaise.

Tihange 2 et 3

Par conception de ces unités, ce type d'accident fait appel au deuxième niveau de protection, géré par le bâtiment d'ultime secours (bâtiment renforcé dit BUS). Le rôle des circuits d'ultime secours (CUS) est de protéger la centrale et l'environnement des conséquences d'un accident d'origine externe, en particulier la perte des circuits du premier niveau de protection.

Le maintien de la centrale dans un état stable et contrôlé suppose :

- d'alimenter en eau les GV et décharger la vapeur vers l'atmosphère pour permettre le refroidissement du réacteur jusqu'à la mise en service du circuit RRA ;
- d'alimenter en eau de refroidissement des pompes et échangeurs RRA pour assurer le refroidissement final du circuit primaire et le maintien de celui-ci en état d'arrêt à froid ;
- de faire des appoints d'eau borée au circuit primaire afin de compenser la contraction volumique de son inventaire en eau durant le refroidissement et de maintenir le réacteur en régime sous-critique ;
- de contrôler et de réduire la pression dans le circuit primaire tout au long de la phase de refroidissement ;
- de maintenir l'intégrité des joints des pompes du circuit primaire.

Pour ce faire, le deuxième niveau de protection dispose de plusieurs circuits dont les plus importants sont : l'AUG (alimentation d'ultime secours des GV), le CRU (refroidissement d'ultime secours), le CIU (injection d'ultime secours) et l'IJU (Injection d'ultime secours aux joints des pompes du circuit primaire, uniquement à Tihange 3 ; l'intégrité de ces joints est assurée par le CRU à Tihange 2).

L'alimentation électrique de ces équipements est assurée par trois groupes Diesel d'ultime secours d'une puissance unitaire de 2240 kW (puissance en régime continu), installés dans le BUS de l'unité et pouvant être refroidis par l'eau de Meuse ou l'eau de nappe (CEU). Ces groupes sont dimensionnés pour assurer l'alimentation de tous les auxiliaires du BUS nécessaires à la mise à l'arrêt stable et contrôlé de l'unité, en cas de perte de toutes les alimentations externes et des groupes Diesel de secours de premier niveau.

Ces équipements sont surveillés et testés régulièrement. Un programme d'entretien et d'essais est défini afin de s'assurer de leur disponibilité et de leur fiabilité.

Une estimation de l'autonomie des diesels a été réalisée en utilisant seulement les équipements essentiels pour le passage en conditions d'AAF. Après atteinte de l'AAF, seuls les équipements essentiels à son maintien sont retenus. Sur ces bases, l'autonomie estimée des groupes Diesel second niveau (en utilisant uniquement les réserves propres à chacune des unités) est indiquée dans le tableau 4 page suivante.

La capacité STE de stockage de gazole assure le maintien à pleine charge de deux groupes GDU sur les trois pendant au moins 7 jours, dans le cas le plus défavorable en terme de charge. Ce cas est radicalement différent de la seule perte des alimentations électriques externes et premier niveau de l'unité. Dans le scénario présent, en utilisant seulement les équipements nécessaires pour le passage et le maintien en AAF, l'autonomie passe à 50 jours. Pour cela, on utilise le gazole restant dans la bache CVA B08, commune à Tihange 2 et 3 et celui des réservoirs des groupes Diesel de premier niveau (via des moyens externes).

Tableau 4 ↘

Autonomie des Diesels 2^e niveau à Tihange 2 et 3

	Tihange 2	Tihange 3
Autonomie capacité STE (jours) ¹	7	7
Autonomie capacité max (jours) ²	11	11
Autonomie capacité STE + réservoir CVA (jours) ³	> 19	> 19
Autonomie capacité STE-CVA et 1 ^{er} niveau (jours) ⁴	> 50	> 50

1. Réservoirs de gazole remplis au minimum STE

2. Réservoirs de gazole remplis au maximum

3. Réservoirs de gazole remplis au minimum STE et appoint via 150 m³ du réservoir CVA

4. Réservoirs de gazole remplis au minimum STE et appoint via 150 m³ du réservoir CVA et utilisation des réservoirs gazole premier niveau.

La consommation d'huile est de 3,2 l/h à pleine puissance et la capacité en huile du réservoir est de 1 000 l par GDU. Cela confère une autonomie d'environ 13 jours en huile. En prenant en compte uniquement les équipements essentiels pour le passage en AAF (puis une minimisation de la charge en AAF), la capacité d'huile du réservoir et du stock de sécurité confèrent une autonomie d'au moins 4 semaines.

La perte des alimentations électriques externes et des groupes Diesels de secours de premier niveau est intégrée dans les bases de conception de la centrale. Différents états initiaux de l'unité sont envisagés.

L'analyse exposée ci-dessous se réfère au cas où une seule unité est affectée (Tihange 2 ou 3). Le principe est le même pour les deux unités.

Générateurs de vapeur disponibles

Une turbopompe EAA alimente normalement les GV jusqu'à l'épuisement des réserves d'eau ou des batteries, ou l'ordre (manuel ou automatique) d'arrêt.

D'autre part, les circuits du deuxième niveau, alimentés par les groupes Diesel GDU, peuvent amener et maintenir le réacteur à l'arrêt à froid (et refroidir les piscines CTP).

Le deuxième niveau de protection dispose d'un circuit propre chargé d'alimenter les GV à partir des réservoirs d'eau d'ultime secours et d'un deuxième circuit permettant d'effectuer, par après, le refroidissement du circuit primaire par le RRA. Ces réservoirs sont réalimentés automatiquement par le CEU de puits ou de Meuse (si l'eau de puits est indisponible).

Étant donné que les pompes du CEU peuvent aspirer de l'eau de Meuse (éventuellement par les prises d'eau profondes, voir figure « aspiration fond de Meuse » au chapitre 1), il n'existe pas de risque d'épuisement de l'eau de refroidissement. L'intégrité au niveau des joints des pompes du circuit primaire est également assurée par les circuits du BUS.

Les circuits du deuxième niveau permettent d'amener et de maintenir le réacteur à l'arrêt à froid. Il n'y a donc pas d'effet falaise pour ce scénario.

Le seul problème qui peut être rencontré est l'épuisement du gazole ou de l'huile pour les groupes Diesel du deuxième niveau, qui interviendra après une semaine au minimum. Cette autonomie est compatible avec le délai d'arrivée de matériel ou de consommables en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur.

Circuit primaire ouvert

Les circuits du deuxième niveau, alimentés par les groupes Diesel GDU, peuvent maintenir le réacteur à l'arrêt à froid (et refroidir les piscines CTP). Le circuit RRA sera alimenté par les groupes diesel GDU et utilisera comme source froide l'eau provenant du circuit de refroidissement d'ultime secours, dont les réservoirs (commun à l'AUG) sont réalimentés automatiquement par le CEU de puits ou de Meuse.

Il n'y a donc pas d'effet falaise pour ce scénario.

Les pompes CEU prélèvent de l'eau de la Meuse. Il n'existe donc pas de risque d'épuisement de l'eau de refroidissement.

Le seul problème qui peut être rencontré est l'épuisement du gazole ou de l'huile pour les groupes Diesel du deuxième niveau, qui interviendra après un délai (une semaine au minimum) compatible avec le délai d'arrivée de matériels ou de consommables en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site.

Piscines de désactivation

Les circuits du deuxième niveau permettent d'amener et de maintenir le réacteur à l'arrêt à froid et refroidir les piscines CTP. Les pompes CTP sont alimentées par les groupes Diesel de deuxième niveau et utilisent, comme source froide *via* des échangeurs, l'eau provenant du circuit de refroidissement d'ultime secours, dont les réservoirs (commun à l'AUG) sont réalimentés automatiquement *via* le CEU de puits ou de Meuse.

Les piscines de désactivation du bâtiment DE peuvent être refroidies par un puits CEU de Tihange 2 ou Tihange 3. L'autonomie de l'eau de nappe est d'au moins 30 jours. Le maintien des alimentations électriques est effectué par le GDU comme dans les états initiaux précédents.

Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Cœur complètement déchargé

Dans cette situation, il n'y a plus à refroidir le circuit primaire. En revanche, les assemblages de combustible fraîchement sortis du cœur reposent dans la piscine de désactivation.

Les piscines CTP peuvent être refroidies par les circuits du deuxième niveau.

Les circuits du deuxième niveau permettent de refroidir les piscines CTP. Il n'y a donc pas d'effet falaise pour ce scénario.

Les pompes CEU prélèvent de l'eau de la Meuse. Il n'existe donc pas de risque d'épuisement de l'eau de refroidissement.

Le seul problème qui peut être rencontré est l'épuisement du gazole ou de l'huile pour les groupes Diesel du deuxième niveau, qui interviendra après un délai (une semaine au minimum) compatible avec le délai d'arrivée de matériels ou d'eau en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site.

Plusieurs unités du site affectées

La gestion de l'accident sera identique à celle du cas où une seule unité du site est affectée, étant donné que pour ce scénario seuls les équipements et réserves propres à chaque unité sont utilisés à court terme (au moins 72 heures à Tihange 1 et une semaine à Tihange 2-3).

La principale différence est l'utilisation de l'eau de nappe par plusieurs unités, qui est traitée au paragraphe 5.1.4.

Néanmoins, en cas de perte des alimentations électriques externes et des groupes Diesel de premier niveau, les unités Tihange 2 et 3 peuvent utiliser l'eau de Meuse, hormis pour le refroidissement des piscines du DE. L'unité Tihange 1 est donc la seule qui utilisera la nappe phréatique à moyen terme comme source froide (autonomie de 30 jours si une seule unité affectée). Il faudra également prévoir à moyen terme l'utilisation des puits pour le refroidissement du DE. Même dans ce cas, le site dispose toujours d'une autonomie de plusieurs semaines. Il n'y a donc pas d'effet falaise.

5.1.2.2. Capacité et autonomie des batteries

Tihange 1

Les tableaux nécessaires au fonctionnement du SUR (y compris ceux secourus par batteries) seront réalimentés par le DUR et le GUS, ce qui leur confère donc une autonomie au minimum égale à celle du SUR (jusqu'à plusieurs semaines). L'autonomie des batteries du SUR n'est pas limitative dans ce cas.

Tihange 2 et 3

Les tableaux nécessaires au fonctionnement du BUS (y compris ceux réalimentés en secours par des batteries) seront réalimentés par les GDU, ce qui leur confère une autonomie au minimum

égale à celle des GDU (jusqu'à plusieurs semaines). L'autonomie des batteries du BUS n'est pas limitative dans ce cas.

5.1.2.3. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible

Ce scénario est couvert par la conception des trois unités (*voir paragraphe 5.2.1*). Une série d'équipements et de réserves disponibles sur site permet de tenir plus de 72 heures sans apport de matériel ou de consommables en provenance de l'extérieur. L'incident sera géré selon les procédures en vigueur par le personnel de conduite et d'astreinte.

5.1.2.4. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

Tihange 1

Le scénario *station black-out* étant couvert par la conception de base des unités, il n'est pas nécessaire (à court terme) de faire appel à des moyens extérieurs à la centrale.

L'unité comporte des équipements alimentés par le SUR qui utilisent comme sources électriques un groupe turboalternateur et un groupe Diesel d'ultime repli, tous deux situés dans le bâtiment BUR. Ces équipements suffisent à traiter ce type d'accident, comme décrit au paragraphe 5.1.2.1, et donc à préserver l'intégrité du combustible. La priorité sera donnée dans le scénario à retrouver une alimentation électrique (externe, GDS ou GDR).

En plus de l'appoint en eau pouvant être effectué à partir de la réserve du B01Bi vers les piscines, d'autres moyens ultimes sont disponibles. Développés dans le cadre d'une inondation exceptionnelle du site (*voir chapitre 3*), ils permettent une alimentation en eau d'incendie de la piscine de désactivation. Cela peut se faire soit indirectement par une bouche d'incendie alimentant le réservoir de remplissage de la piscine, soit directement à partir d'une bouche d'incendie alimentant la piscine. Dans les deux cas, le circuit d'incendie est pressurisé par sa motopompe diesel (environ 450 m³/h) ou par une motopompe mobile. Le circuit incendie des trois unités peut également être interconnecté.

Ces solutions peuvent être mises en place bien avant que la température de l'eau rende difficile l'accès au local, le cas échéant. Le délai minimum d'ébullition est d'environ 10 heures.

Tihange 2 et 3

Le scénario *station black-out* étant couvert par la conception de base des unités, il n'est pas nécessaire (à court terme) de faire appel à des moyens externes.

Les équipements du second niveau de protection sont alimentés par trois groupes Diesel d'ultime secours par unité, installés dans le bâtiment « bunkérisé » (BUS) de l'unité et refroidis par l'eau de Meuse ou l'eau de nappe (CEU). Les auxiliaires du BUS permettent de refroidir la piscine d'entreposage des éléments combustible, ainsi que la piscine DE pour Tihange 3.

La priorité sera donnée dans ce scénario à retrouver une alimentation électrique externe. Les aspects liés au Plan Interne d'Urgence sont traités au chapitre 6.

5.1.2.5. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

Modifications matérielles

À Tihange 1, la gestion de cet accident utilise comme source d'alimentation électrique le DUR et le GUS. Un appoint de gazole au groupe Diesel d'ultime repli est nécessaire trois fois par jour. Cet appoint étant manuel, la mise en place d'un système automatique sera analysée.

Des études seront entreprises pour analyser la possibilité de réalimentation des pompes (CTP, RRA) à Tihange 1 afin de maintenir un refroidissement en boucle fermée pour les piscines et le CRP (dans les conditions de GV indisponibles) dans ce type de scénario. Cette analyse est prévue dans le cadre du LTO.

Création ou Modification de procédure

Les procédures actuelles de modification du SUR seront amendées afin d'assurer un appoint et une évacuation de la vapeur pour le cas de la piscine BAN D.

Une procédure définissant les charges non essentielles en situation de repli est à prévoir afin de limiter la consommation en gazole (Tihange 2 et 3).

De plus des procédures doivent être amendées afin d'assurer un appoint régulier en huile aux différents groupes Diesel (applicable pour les trois unités).

5.1.3. Perte des alimentations électriques externes, de l'alimentation interne de secours et de toute autre alimentation de secours

Ce chapitre considère la perte de toutes les alimentations électriques externes, internes du premier et du deuxième niveau. Dans ces circonstances, le site ne dispose plus que des batteries, des turbopompes, des réserves d'eau pouvant être transférées par gravité et de moyens mobiles non-conventionnels. Dans ce cas exceptionnel, le site dispose d'une autonomie variant entre quelques heures et plusieurs jours. Ce scénario est de ce fait utilisé pour la définition de moyens non-conventionnels supplémentaires permettant d'assurer le maintien dans un état stable et contrôlé sur le long terme.

5.1.3.1. Dispositions de conception

Ce troisième scénario, supposant la perte de toutes les alimentations électriques, n'est pas prévu dans les bases de conception des unités de Tihange. Il suppose en effet que se produise, successivement ou simultanément :

- la perte du réseau extérieur (lignes 380 kV et 150 kV, voir début chapitre 5);
- l'échec de l'îlotage;
- la perte des groupes Diesel de premier niveau;
- la perte des groupes Diesel de deuxième niveau.

Le présent scénario ne suppose aucun délai entre les différentes défaillances et est très peu plausible compte tenu des différents niveaux (avec la spécificité des unités de Tihange qui ont un deuxième niveau de protection) de protection des unités ; cette situation extrême sera néanmoins utilisée comme cas enveloppe pour l'analyse de la gestion de ce type d'accident.

De manière générale, en cas de perte de l'ensemble des groupes Diesel de secours (premier et deuxième niveau) et de réalimentation par le réseau extérieur, seules les batteries et les turbopompes TPA fonctionnent jusqu'à épuisement des réserves.

Il faut également noter que Tihange 1 a la particularité de disposer d'un groupe turboalternateur d'ultime secours (GUS). Ce dernier, qui reste disponible tant qu'il y a une pression vapeur suffisante provenant des GV (voir paragraphe 5.1.2), constitue un atout important. En effet, le GUS permet la réalimentation de certains équipements dont les batteries de la TPA-EAS, la pompe d'injection aux joints des pompes du circuit primaire et un des deux compresseurs d'air ultime.

Dans tous les cas, la perte complète des alimentations électriques externes et internes est gérée dans un premier temps par les procédures accident (priorité importante à la récupération rapide d'un groupe Diesel ou d'une source électrique externe) puis en fonction de critères prédéfinis par les guides d'accidents sévères SAMG.

5.1.3.2. Capacité et autonomie des batteries

Tihange 1

En cas de perte de toutes les sources externes et internes, les derniers éléments auxquels il peut être fait appel sont les batteries dont le dimensionnement garantit l'alimentation de l'instrumentation et le contrôle/commande pendant au minimum 3 heures selon les spécifications techniques. La capacité des batteries est vérifiée périodiquement par des essais.

Sur la base de mesures réelles de consommation (estimation de capacité réelle), la perte progressive des alimentations liées aux batteries de premier niveau débute après 4 heures de fonctionnement et s'étale jusqu'à plus de 17 heures. De même, les équipements repris par l'ultime secours disposent d'une autonomie sur batterie estimée à plus de 7 heures de fonctionnement en cas de perte totale des alimentations électriques externes et internes.

Tihange 2

En cas de perte de toutes les sources externes et internes, les derniers éléments auxquels il peut être fait appel sont les batteries dont le dimensionnement garantit l'alimentation de l'instrumentation et du contrôle/commande pendant au minimum 3 heures selon les spécifications techniques. La capacité des batteries est vérifiée périodiquement par des essais.

Sur la base de mesures réelles de consommation (estimation de la capacité réelle), la perte progressive des alimentations liées aux batteries du premier niveau débute après 5 heures de fonctionnement et s'étale jusqu'à plus de 15 heures. De même, les équipements du second niveau disposent d'une autonomie sur batteries estimée à plus de 7 heures.

Tihange 3

En cas de perte de toutes les sources externes et internes, les derniers éléments auxquels il peut être fait appel sont les batteries dont le dimensionnement garantit l'alimentation de l'instrumentation et du contrôle/commande pendant au minimum 3 heures selon les spécifications techniques. La capacité des batteries est vérifiée périodiquement par des essais.

Sur la base de mesures réelles de consommation (estimation de la capacité réelle), la perte progressive des alimentations liées aux batteries du premier niveau débute après 5 heures de fonctionnement et s'étale jusqu'à plus de 15 heures.

De même, pour le second niveau, la perte progressive des alimentations liées aux batteries débute après 6 heures de fonctionnement et s'étale jusqu'à plus de 7 heures.

5.1.3.3. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible

Cette problématique est également analysée dans le chapitre 6, qui traite de la problématique de la gestion des accidents sévères. L'analyse reprise ci-dessous considère le cas enveloppe de la perte de toutes les sources électriques externes et internes.

Tihange 1

Pour identifier d'éventuels effets falaise lors de la perte du refroidissement du cœur, deux situations initiales sont envisagées. Dans le premier cas, le circuit primaire (CRP) est fermé, la chaleur résiduelle est alors évacuée par les GV. Dans le second, le CRP est ouvert vers l'enceinte de confinement (états d'arrêt). Les conséquences de la perte des alimentations électriques et/ou des sources froides sont couvertes par l'hypothèse d'un *station black-out* complet (SBO) dans la configuration la plus défavorable de la tranche.

Générateurs de vapeur disponibles

Ce premier cas est « enveloppé » par l'état de fonctionnement à pleine puissance de la tranche (situation la plus défavorable). Après la perte totale des alimentations électriques, seule la turbopompe du circuit EAS reste disponible à court terme pour faire l'appoint d'eau aux générateurs de vapeur (GV). Cette configuration est caractérisée par des pressions et températures élevées dans les circuits primaire et secondaire, par l'évacuation de la vapeur secondaire *via* les vannes de décharge atmosphériques (VDA) ou les soupapes des GV et par un refroidissement insuffisant au niveau des joints des pompes du circuit primaire pouvant entraîner, à court terme, des fuites primaires limitées.

La principale limitation rencontrée (effet falaise) est l'épuisement de l'eau contenue dans la bache EAS. Son volume de 120 m³ n'autorise que 3 heures de refroidissement du CRP par les GV (jusqu'à la vidange complète des GV) si le SBO a lieu de façon soudaine et de 7 heures si l'accident est de nature progressive et que la perte totale des alimentations électriques a lieu une heure après l'arrêt d'urgence du réacteur. Des moyens non-conventionnels sont disponibles pour réapprovisionner en eau la bache EAS *via* le circuit de protection incendie. Le groupe motopompe Diesel d'incendie et la mise en place de flexibles permettent la réalimentation de cette bache dans un délai très court (30 minutes). Grâce à ces moyens, cet effet falaise est évité.

Néanmoins, afin d'augmenter la robustesse des installations, **des études de faisabilité seront lancées pour examiner les possibilités d'augmenter la capacité de la bache EAS (cette analyse est prévue dans le cadre du projet LTO). Une étude de faisabilité (dans le cadre de LTO) pour l'ajout d'une pompe d'eau alimentaire de secours sera réalisée.**

Afin d'éviter une dégradation des joints des pompes du circuit primaire, la dépressurisation du CRP est souhaitable dans les heures suivant le début de l'accident. Ceci n'est cependant envisageable qu'après avoir réglé l'appoint en eau à la bêche EAS étant donné la consommation d'eau EAS lors du refroidissement. Les procédures actuelles prescrivent bien cette dépressurisation du circuit primaire dans les conditions du SBO complet dans le cas où la turbopompe EAS est disponible. Par contre, contrairement à d'autres centrales, l'opérateur n'est pas clairement informé du risque lié à l'injection d'azote dans le CRP par les accumulateurs CIS. Les procédures d'accident donnent des instructions empêchant l'injection d'eau par les accumulateurs CIS ce qui serait opportun dans un scénario du SBO complet. **La rédaction d'une procédure adaptée pour la perte totale des alimentations électriques est à analyser.**

Après l'ouverture manuelle des VDA et la dépressurisation du CRP, l'opérateur doit gérer le risque d'injection d'azote des accumulateurs CIS dans le CRP par des interventions manuelles sur ces vannes (**l'installation de commandes manuelles sur celles-ci permettrait un réglage aisé, l'étude de faisabilité sera initiée**). Afin d'éviter la dégradation du transfert de chaleur du circuit primaire vers le circuit secondaire, il doit maintenir la pression du CRP au-dessus du seuil d'injection d'azote *via* les accumulateurs CIS. Il doit également préserver une pression secondaire compatible avec le bon fonctionnement de la turbopompe.

Lorsque les batteries des tableaux de contrôle commande et d'instrumentation sont épuisées (effet falaise), environ 7 heures après le début de l'accident, la turbopompe s'arrête et l'appoint d'eau aux GV est perdu. L'assèchement des GV est attendu après plus de 12 heures après la perte des alimentations. **Des moyens alternatifs pour récupérer le contrôle commande de celle-ci sont envisagés pour éviter la perte du refroidissement du cœur. Il est en de même pour le maintien d'une instrumentation minimum.** Le maintien du fonctionnement de la turbopompe permettra à terme, l'utilisation du CMU afin d'assurer une alimentation des GV lorsque ceux-ci sont à basse pression.

Circuit primaire ouvert

Ce cas couvre un nombre important de configurations du CRP qui diffèrent fortement par la quantité de chaleur résiduelle et l'inventaire en eau du CRP (y compris le volume des piscines BR). La situation la plus défavorable est la première étape dite « mi-boucle ou à inventaire réduit » d'un arrêt de tranche. Cette configuration qui se présente cinq jours en moyenne après le début des opérations d'arrêt à Tihange 1 combine un inventaire réduit en eau dans le CRP et une chaleur résiduelle encore assez élevée dans le cœur.

Après la perte totale des alimentations électriques, l'eau du CRP s'échauffe jusqu'à l'ébullition dans un délai inférieur à une demi-heure suivi par le dégagement dans le BR de la vapeur produite. Ce dégagement de vapeur aurait pour effet potentiel de provoquer une montée en pression progressive de l'enceinte et à terme de bloquer l'appoint gravitaire si rien n'était fait pour dépressuriser l'enceinte. À Tihange 1, l'appoint gravitaire à partir de la bêche B01Bi est efficace et peut retarder le découverture du cœur durant un jour. Si aucune intervention n'est réalisée, l'endommagement du combustible pourrait avoir lieu après plus d'un jour.

La réalimentation du B01Bi au départ de sources d'eau diverses (drainage partiel des piscines, utilisation du CMU *via* flexibles, ou tout autre moyen alternatif), permet de prolonger l'autonomie du B01Bi jusqu'à récupération d'une source de refroidissement conventionnelle.

Une ventilation VBP (secourue aussi bien par les groupes GDS de premier niveau que par le DUR) évite la pressurisation de l'enceinte par évacuation de la chaleur produite. En cas d'ultime recours (cas analysé ici), l'ouverture partielle de l'enceinte permet également d'éviter cette pressurisation. **Des stratégies supplémentaires de gestion de la surpression de l'enceinte seront étudiées.**

Dans la configuration piscine BR remplie, le temps jusqu'au découverture des assemblages est estimé à cinq jours dans la configuration la plus défavorable (c'est-à-dire en l'absence de liaison entre la piscine BR et celle du BAN). Ce délai laisse largement la possibilité de mettre en œuvre une stratégie alternative de refroidissement /appoint.

Piscines de désactivation

L'analyse ci-dessous est effectuée pour le cas enveloppe où le cœur est complètement déchargé en piscine de désactivation. En cas de perte complète de toutes les alimentations électriques externes et internes, la piscine de désactivation n'est pas refroidie par les échangeurs CTP.

En théorie, sans appoint d'eau froide à la piscine, l'évaporation commence après environ 10 heures et le délai avant le découverture des assemblages (effet falaise) est d'au moins 4 jours si le tube de transfert est fermé et que rien n'est entrepris pour récupérer la situation.

En pratique, le site utilise, en révision, un couvercle temporaire après déchargement complet du cœur. Ce couvercle permet de vider partiellement le CRP tout en maintenant la piscine BR remplie. Le volume d'eau contenu dans les piscines BR et BAN D, qui restent alors connectées (tube de transfert du combustible ouvert) augmente considérablement leur inertie thermique, maintenant le combustible sous eau pendant au moins 9 jours.

Des moyens non conventionnels (mise en œuvre en quelques heures) sont prévus pour réaliser l'appoint en eau avant ces délais.

À titre comparatif, lorsque l'unité est en puissance (une partie du combustible est dans le cœur et l'autre dans la piscine de désactivation), elle dispose d'au moins 40 heures avant le début de l'évaporation et 16 jours avant le découverture du combustible dans la piscine BAN.

Le refroidissement du combustible est maintenu par évaporation et appoint en eau, mis en œuvre en quelques heures. L'accès au local sera rendu difficile à terme par la présence de vapeur dans le bâtiment. De ce fait, les éventuelles opérations dans le local doivent être réalisées au plus tôt. L'ouverture d'un exutoire pour la vapeur (portes, trappes...) permet de se prémunir d'une surpression dans le bâtiment. **Des procédures seront créées pour la gestion des piscines dans ce type de scénario. Plusieurs pistes sont actuellement analysées pour la mise en place de mesures de niveau supplémentaires.**

Le temps de mise en œuvre des appoints en eau est compatible avec les délais repris ci-dessus. Au vu des nombreux moyens d'appoints d'eau dont dispose l'unité, cet effet falaise est très peu probable.

Tihange 2

Pour identifier d'éventuels effets falaise lors de la perte du refroidissement du cœur, deux situations initiales sont envisagées. Dans le premier cas, le circuit primaire (CRP) est fermé, la chaleur résiduelle est alors évacuée par les GV. Dans le second, le CRP est ouvert vers l'enceinte de confinement (états d'arrêt). Les conséquences de la perte des alimentations électriques et/ou des sources froides sont couvertes par l'hypothèse d'un *station black-out* complet (SBO) dans la configuration la plus défavorable de la tranche.

Générateurs de vapeur disponibles

Le premier cas est « enveloppé » par l'état de fonctionnement à pleine puissance de la tranche (situation la plus défavorable). Après la perte totale des alimentations électriques, seule la turbopompe du circuit EAA reste disponible à court terme pour faire l'appoint d'eau aux générateurs de vapeur (GV). Cette configuration est caractérisée par des pressions et températures élevées dans les circuits primaire et secondaire, par l'évacuation de la vapeur secondaire *via* les vannes de décharge atmosphériques (VDA) ou les soupapes des GV et par un refroidissement insuffisant au niveau des joints des pompes du circuit primaire pouvant entraîner, à court terme, des fuites primaires limitées.

Afin d'éviter une dégradation des joints des pompes du circuit primaire, la dépressurisation du CRP est souhaitable dans les heures suivant le début de l'accident. La procédure actuelle ne prescrit pas strictement cette instruction, mais on peut considérer que les opérateurs ou ingénieurs d'astreinte, conscients des conditions de fonctionnement contraignantes pour les joints, prendraient la décision de dépressuriser le CRP par décharge à l'atmosphère *via* les VDA avant qu'une dégradation importante des joints ne survienne. **Une modification des procédures afin de clarifier la conduite à tenir est en cours de mise en œuvre. De plus, la rédaction d'une procédure supplémentaire pour la perte complète des alimentations électriques sera analysée.**

Après l'ouverture manuelle des VDA et la dépressurisation du CRP, l'opérateur doit gérer le risque d'injection d'azote des accumulateurs CIS dans le CRP par des interventions manuelles sur ces vannes. Afin d'éviter la dégradation du transfert de chaleur du circuit primaire vers le circuit secondaire, il doit maintenir la pression du CRP au-dessus du seuil d'injection d'azote *via* les accumulateurs CIS. Il doit également préserver une pression secondaire compatible avec le bon fonctionnement de la turbopompe.

Lorsque les batteries des tableaux de contrôle commande et d'instrumentation sont épuisées (effet falaise), après un temps estimé entre 6 et 12 heures après le début de l'accident, le réglage de la vitesse de la turbopompe et des débits fournis aux GV doit être réalisé de façon manuelle. À ce moment, la lecture du niveau d'eau des GV est perdue également. L'opérateur doit avoir réglé au préalable un débit d'eau correct vers les GV sinon cela peut à terme mener à l'assèchement ou au contraire à un excès d'eau dans les GV. Le maintien d'une instrumentation minimum est assuré par des moyens non conventionnels.

L'évacuation de la chaleur résiduelle par les GV, alimentés par la turbopompe EAA, est limitée par le volume disponible dans la bêche EAA (680 m³) si un appoint n'est pas réalisé au plus tard environ 17 heures après le début de l'accident (effet falaise). Le maintien du fonctionnement de la turbopompe permet à terme, l'utilisation du CMU afin d'assurer une alimentation des GV lorsque ceux-ci sont à basse pression.

Circuit primaire ouvert

Ce cas couvre un nombre important de configurations du CRP qui diffèrent fortement par la quantité de chaleur résiduelle et l'inventaire en eau du CRP (y compris le volume des piscines BR). La situation la plus défavorable est la première étape dite « mi-boucle ou à inventaire réduit » d'un arrêt de tranche. Cette configuration qui se présente en moyenne trois jours après le début des opérations d'arrêt à Tihange 2 combine un inventaire réduit en eau dans le CRP et une chaleur résiduelle encore assez élevée dans le cœur. Après la perte totale des alimentations électriques, l'eau du CRP s'échauffe jusqu'à l'ébullition dans un délai inférieur à une demi-heure suivi par le dégagement dans le BR de la vapeur produite. Ce dégagement de vapeur aurait pour effet potentiel de provoquer une montée en pression progressive de l'enceinte et à terme de bloquer l'appoint gravitaire si rien n'est fait pour dépressuriser l'enceinte. À Tihange 2, l'appoint gravitaire à partir des réservoirs CTP est efficace et peut retarder le découverture du cœur de huit heures. Sans autre intervention, l'endommagement du combustible intervient quelques heures après.

La réalimentation des réservoirs CTP au départ de sources d'eau diverses (drainage partiel des piscines, ou tout autre moyen alternatif) permet de prolonger l'autonomie de ceux-ci jusqu'à récupération d'une source de refroidissement conventionnelle.

Pour ce qui a trait à la pressurisation progressive de l'enceinte, la création d'un exutoire permet également d'éviter celle-ci. **Des stratégies supplémentaires de gestion de la surpression de l'enceinte seront étudiées.**

Dans la configuration piscines BR remplies, le temps jusqu'au découverture des assemblages est estimé à peu près, à trois jours dans la configuration la plus défavorable (c'est-à-dire en l'absence de liaison entre les piscines BR et celles du BAN). Ce délai laisse largement la possibilité de mettre en œuvre une stratégie alternative de refroidissement /appoint.

Piscines de désactivation

L'analyse ci-dessous est effectuée pour le cas enveloppe où le cœur est déchargé en piscine de désactivation.

En cas de perte complète de toutes les alimentations électriques externes et internes, la piscine de désactivation n'est plus refroidie par les échangeurs CTP.

En théorie, sans appoint d'eau froide à la piscine, l'évaporation commence environ 8 heures après la perte du refroidissement normal et le délai avant le découverture des assemblages (effet falaise) est d'au moins 2 jours si le tube de transfert est fermé et que rien n'est entrepris pour récupérer la situation.

En pratique, le site utilise un couvercle temporaire sur la cuve du réacteur après déchargement complet du cœur. Ce dernier permet de vider partiellement le CRP tout en maintenant la piscine BR remplie. Le volume d'eau contenu dans les piscines BR et BAN D, qui restent alors connectées (tube de transfert du combustible ouvert) augmente considérablement leur inertie thermique, maintenant le combustible sous eau pendant au moins 6 jours.

Des moyens non conventionnels (mise en œuvre en quelques heures) sont prévus pour réaliser l'appoint en eau avant ces délais.

À titre comparatif, lorsque l'unité est en puissance (une partie du combustible est dans le cœur et l'autre dans la piscine de désactivation), elle dispose d'au moins 24 heures avant le début de l'évaporation et 6 jours avant le découverture du combustible de la piscine BAN.

Le refroidissement du combustible est maintenu par évaporation et appoint en eau, mis en œuvre en quelques heures. L'accès au local sera rendu difficile à terme par la présence de vapeur dans le bâtiment. De ce fait, les éventuelles opérations dans le local doivent être réalisées au plus tôt. L'ouverture d'un exutoire pour la vapeur (portes, trappes...) permet de se prémunir d'une surpression dans le bâtiment. **Des procédures seront créées pour la gestion des piscines dans ce type de scénario. D'autre part des pistes sont actuellement analysées pour la mise en place de mesures de niveau supplémentaires.**

Le temps de mise en œuvre des appoints en eau est compatible avec les délais repris ci-dessus. Au vu des nombreux moyens d'appoints d'eau dont dispose l'unité, cet effet falaise est très peu probable.

Tihange 3

Pour identifier d'éventuels effets falaise lors de la perte du refroidissement du cœur, deux situations initiales sont envisagées. Dans le premier cas, le circuit primaire (CRP) est fermé, la chaleur résiduelle est alors évacuée par les GV. Dans le second, le CRP est ouvert vers l'enceinte de confinement (états d'arrêt). Les conséquences de la perte des alimentations électriques et/ou des sources froides sont couvertes par l'hypothèse d'un *station black-out* complet (SBO) dans la configuration la plus défavorable de la tranche.

Générateurs de vapeur disponibles

Ce premier cas est « enveloppé » par l'état de fonctionnement à pleine puissance de la tranche (situation la plus défavorable). Après la perte totale des alimentations électriques, seule la turbopompe du circuit EAA reste disponible à court terme pour faire l'appoint d'eau aux générateurs de vapeur (GV). Cette configuration est caractérisée par des pressions et températures élevées dans les circuits primaire et secondaire, par l'évacuation de la vapeur secondaire *via* les vannes de décharge atmosphériques (VDA) ou les soupapes des GV et par un refroidissement insuffisant au niveau des joints des pompes du circuit primaire pouvant entraîner, à court terme, des fuites primaires très limitées.

Afin d'éviter une dégradation des joints des pompes du circuit primaire, la dépressurisation du CRP est souhaitable dans les heures suivant le début de l'accident. La procédure actuelle ne prescrit pas strictement cette instruction, mais on peut considérer que les opérateurs ou ingénieurs d'astreinte, conscients des conditions de fonctionnement contraignantes pour les joints, prendraient la décision de dépressuriser le CRP par décharge à l'atmosphère *via* les VDA avant qu'une dégradation importante des joints ne survienne. **Une modification des procédures afin de clarifier la conduite à tenir est en cours de mise en œuvre. De plus, la rédaction d'une procédure supplémentaire pour la perte complète des alimentations électriques sera analysée.**

L'installation d'une pompe de commande manuelle sur les VDA permettrait un réglage plus aisé de leur positionnement, l'étude de faisabilité sera initiée.

Après l'ouverture manuelle des VDA et la dépressurisation du CRP, l'opérateur doit gérer le risque d'injection d'azote des accumulateurs CIS dans le CRP par des interventions manuelles sur ces vannes. Afin d'éviter la dégradation du transfert de chaleur du circuit primaire vers le circuit secondaire, il doit maintenir la pression du CRP au-dessus du seuil d'injection d'azote *via* les accumulateurs CIS. Il doit également préserver une pression secondaire compatible avec le bon fonctionnement de la turbopompe.

Quand les batteries des tableaux de contrôle commande et d'instrumentation sont épuisées (effet falaise), après un temps estimé entre 7 et 14 heures après le début de l'accident, le réglage de la vitesse de la turbopompe et des débits fournis aux GV doit être réalisé de façon manuelle. À ce moment, la lecture du niveau d'eau dans les GV est perdue également. L'opérateur doit avoir réglé au préalable un débit d'eau correct vers les GV sinon cela peut à terme mener à l'assèchement ou au contraire à un excès d'eau dans les GV. Le maintien d'une instrumentation minimum est assuré par des moyens non conventionnels.

L'évacuation de la chaleur résiduelle par les GV, alimentés par la turbopompe EAA, est limitée par le volume disponible dans la bache EAA (800 m³) si un appoint n'est pas réalisé au plus tard environ 23 heures après le début de l'accident (effet falaise). Le maintien du fonctionnement de la turbopompe permet à terme, l'utilisation du CMU afin d'assurer une alimentation des GV lorsque ceux-ci sont à basse pression.

Circuit primaire ouvert

Ce cas couvre un nombre important de configurations du CRP qui diffèrent fortement par la quantité de chaleur résiduelle et l'inventaire en eau du CRP (y compris le volume des piscines BR). La situation la plus défavorable est la première étape dite « mi-boucle ou à inventaire réduit » d'un arrêt de tranche. Cette configuration qui se présente trois jours après le début des opérations d'arrêt à Tihange 3 combine un inventaire réduit en eau dans le CRP et une chaleur résiduelle encore assez élevée dans le cœur. Après la perte totale des alimentations électriques, l'eau du CRP s'échauffe jusqu'à l'ébullition dans un délai inférieur à une demi-heure suivi par le dégagement dans le BR de la vapeur produite. Ce dégagement de vapeur aurait pour effet potentiel de provoquer une montée en pression progressive de l'enceinte. À Tihange 3, l'appoint gravitaire au CRP dépressurisé n'est pas possible par les réservoirs CTP parce que ceux-ci se trouvent à un niveau inférieur au niveau des boucles primaires. Cette particularité propre à Tihange 3 fait que ce scénario mène à une dégradation plus rapide du refroidissement du cœur : sans appoint actif au CRP, l'endommagement du combustible peut avoir lieu 3 heures après le début de l'accident (il s'agit toutefois d'une situation hautement improbable).

Une étude de faisabilité est initiée pour mettre en place un moyen de réalimentation du CRP dans cette configuration.

La réalimentation des réservoirs CTP au départ de sources d'eau diverses (drainage partiel des piscines, ou tout autre moyen alternatif) permet de prolonger l'autonomie de ceux-ci jusqu'à récupération d'une source de refroidissement conventionnelle.

Pour ce qui a trait à la pressurisation progressive de l'enceinte, la création d'un exutoire permet également d'éviter celle-ci. **Des stratégies supplémentaires de gestion de la surpression de l'enceinte seront étudiées.**

Dans la configuration piscines BR remplies, le temps jusqu'à découverture des assemblages est estimé à plus de trois jours dans la configuration la plus défavorable (c'est-à-dire en l'absence de liaison entre les piscines BR et celles du BAN). Ce délai laisse largement la possibilité de mettre en œuvre une stratégie alternative de refroidissement/appoint.

Piscines de désactivation

L'analyse ci-dessous est effectuée pour le cas enveloppe où le cœur est complètement déchargé en piscine de désactivation.

En cas de perte complète de toutes les alimentations électriques externes et internes, la piscine de désactivation n'est plus refroidie par les échangeurs CTP.

En théorie, sans appoint d'eau froide à la piscine, l'évaporation de l'eau commence environ 8 heures après la perte du refroidissement normal et le délai avant le découverture des assemblages (effet falaise) est d'au moins 3 jours si le tube de transfert est fermé et que rien n'est entrepris pour récupérer la situation.

En pratique, le site utilise un couvercle temporaire sur la cuve du réacteur après déchargement complet du cœur. Ce dernier permet de vider partiellement le CRP tout en maintenant la piscine BR remplie. L'important volume d'eau contenu dans les piscines BR et BAN D, qui restent alors

connectées (tube de transfert du combustible ouvert) augmente considérablement leur inertie thermique, maintenant le combustible sous eau pendant au moins 6 jours.

Des moyens non conventionnels (mis en œuvre en quelques heures) sont prévus pour réaliser l'appoint en eau avant ces délais.

À titre comparatif, lorsque l'unité est en puissance (une partie du combustible est dans le cœur et l'autre dans la piscine de désactivation), elle dispose d'au moins 30 heures avant le début de l'évaporation et 9 jours avant le découverture du combustible de la piscine BAN.

Le refroidissement du combustible est maintenu par évaporation et appoint en eau, mis en œuvre en quelques heures. L'accès au local sera rendu difficile à terme par la présence de vapeur dans le bâtiment. De ce fait, les éventuelles opérations dans le local doivent être réalisées au plus tôt. L'ouverture d'un exutoire pour la vapeur (portes, trappes...) permet de se prémunir d'une surpression dans le bâtiment. **Des procédures seront créées pour la gestion des piscines dans ce type de scénario. Plusieurs pistes sont actuellement analysées pour la mise en place de mesures de niveau supplémentaires.**

Le temps de mise en œuvre des appoints en eau est compatible avec les délais repris ci-dessus. Au vu des nombreux moyens d'appoints d'eau dont dispose l'unité, cet effet falaise est très peu probable.

Piscines du bâtiment DE

Il n'y a pas non plus de refroidissement des piscines de désactivation du bâtiment DE en cas de perte complète de toutes les alimentations électriques externes et internes. Le principe de gestion reste identique à celui défini précédemment pour les piscines de désactivation des unités. L'évaporation commence environ 4 jours après la perte de toutes les sources électriques. Des moyens non conventionnels, mis en œuvre en quelques heures, sont prévus pour réaliser l'appoint en eau avant le découverture des assemblages (au moins 3 semaines) et assurer une évacuation de la vapeur.

Le refroidissement du combustible est maintenu par évaporation et appoint en eau, mis en œuvre en quelques heures. L'évaporation commence après au moins 4 jours ce qui laisse suffisamment de marge pour l'appoint en eau à cette piscine. Le temps de mise en œuvre des appoints en eau est compatible avec les délais repris ci-dessus. Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Plusieurs unités affectées

L'analyse effectuée ci-dessus a été faite de manière indépendante pour chacune des unités. De ce fait, le cas « plusieurs unités » affectées n'inclut pas de contraintes supplémentaires.

5.1.3.4. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

La perte complète des alimentations électriques externes et internes est gérée dans un premier temps par les procédures accident (priorité importante sur la récupération rapide d'un groupe Diesel ou d'une source électrique externe) puis par les guides d'accidents sévères SAMG suivant des critères prédéfinis.

En cas de perte complète des alimentations électriques de premier et deuxième niveau, seuls les équipements fonctionnant sur batterie (jusqu'à épuisement de celle-ci) et la turbopompe d'eau alimentaire de secours restent disponibles.

Les actions prévues pour prévenir un endommagement du combustible et le délai avant endommagement pour ce scénario sont décrits au paragraphe 5.1.3.3. Des études menées dans le cadre des Révisions Périodiques de Sûreté (inondation pouvant mener à une perte complète des alimentations électriques) ont conduit à la mise en place de moyens complémentaires. De manière succincte, un délai de préavis existe dans ce cas et permet, suivant une stratégie définie, la mise en place et l'utilisation des moyens CMU (circuits des moyens ultimes).

Actuellement, aucun équipement supplémentaire n'est prévu hors site par l'exploitant en cas de perte complète de toutes les alimentations électriques externes et internes.

5.1.3.5 Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

La perte complète des alimentations électriques de premier et second niveau n'est pas prévue dans la conception de base des centrales de Tihange 1, 2 ou 3. L'autonomie des batteries et des réservoirs permettra de conserver momentanément certaines fonctions (refroidissement du cœur).

Une série de moyens non conventionnels a été mise en place pour répondre à une inondation exceptionnelle (pouvant mener à terme à un *station black-out* complet) mais cela suppose un délai de préavis compatible avec le temps nécessaire pour la mise en œuvre de ces moyens et le passage en situation de repli.

L'analyse plus contraignante effectuée pour ce scénario a identifié certaines préoccupations lors de la gestion d'une perte complète et simultanée (pas de délais entre les différentes défaillances), cas peu probable, de toutes les sources d'alimentation électrique (externes et internes). Ce scénario est utilisé comme cas enveloppe pour la détermination des moyens de secours supplémentaires. Les points suivants reprennent de manière succincte les solutions envisagées. Sauf indication contraire, elles s'appliquent à toutes les unités du site.

Engagement de réalisation

- Mise en place d'une alimentation électrique de 380 V supplémentaire afin de pouvoir restaurer des fonctions élémentaires en cas de perte des sources électriques de premier et deuxième niveau (par exemple : tableaux de contrôle commande, moteurs de capacité modérée, vannes non accessibles, etc.)
- Utilisation du groupe électrogène CMU pour la réalimentation du contrôle commande permettant le fonctionnement de la TPS à Tihange 1 ;
- Mise en place de mesures de niveau supplémentaires des piscines sur la base des contraintes suivantes : pertes de toutes les alimentations électriques et report de l'information hors du bâtiment ;
- Mise en place de moyens pour permettre l'isolement des accumulateurs lors de la dépressurisation du CRP.

Engagement études de faisabilité

- Étude de faisabilité pour l'ajout d'une connexion bridée à l'extérieur du BAN afin de pouvoir asperger dans le bâtiment réacteur grâce à une pompe mobile, pour éviter une surpression d'enceinte ;
- Étude de faisabilité afin d'augmenter la capacité de l'EAS et d'ajouter une motopompe alimentaire de secours (cette analyse est prévue dans le cadre du projet LTO) ;
- Étude de faisabilité pour la mise en place de moyens non conventionnels afin d'assurer l'appoint au circuit primaire en configuration CRP ouvert (pour Tihange 2 et 3) ;
- Étude de faisabilité pour la fiabilisation des interventions en manuel sur les vannes de décharge à l'atmosphère des GV (Tihange 1 et 3) ;
- Étude de faisabilité pour l'ajout de compresseurs mobiles à connecter sur le circuit d'air comprimé en ultime secours.

Des procédures doivent être prévues pour répondre à ce type d'événement, intégrant les moyens non conventionnels nécessaires et les stratégies d'action (par exemple : dépressurisation rapide pour limiter les dégâts sur les joints, coordination avec des moyens non conventionnels présents sur site, suppression des charges non essentielles, azote dans les accumulateurs, pilotage des TPA en local, appoint en eau et évacuation de la vapeur des piscines et statut prioritaire des actions en local en cas de perte du refroidissement normal des piscines, etc.).

Il sera également nécessaire de modifier les « procédures accident » existantes pour prendre en compte ce scénario. D'autre part, des procédures décrivant la réalimentation des équipements requis par des moyens non conventionnels sont aussi à prévoir.

L'organisation de la réponse à ce type d'accident non conventionnel doit également être mise en place (gestions des équipements, documents, etc.) tout en évitant d'affecter la gestion des incidents/accidents de conception.

5.1.4. Perte de la source froide principale (accès à l'eau de Meuse)

La source froide principale de la centrale est une branche artificielle de la Meuse. En cas de perte de l'accès à la Meuse, les unités de Tihange utilisent une source alternative pour se maintenir dans un état stable et contrôlé et assurer le refroidissement des piscines. L'analyse reprise ci-dessous montre que le site dispose de moyens alternatifs d'une autonomie suffisante pour la gestion de ce type d'accident.

5.1.4.1. Dispositions de conception

Les trois unités du site de Tihange utilisent la Meuse comme source froide principale. Le niveau du fleuve est maintenu à une valeur constante par le barrage d'Ampsin-Neuville, situé à 2 km en aval de l'ouvrage de prise d'eau de la centrale.

La prise d'eau des pompes du circuit d'eau brute (CEB) se situe dans un canal d'amenée, qui constitue une branche artificielle du fleuve (voir figure 2, p. 135).

On notera que tous les circuits évoqués dans ce scénario sont qualifiés pour résister au séisme DBE. En cas de perte de la source froide, il est essentiel de garantir les fonctions suivantes (base de conception) :

- a) l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur. Selon le mode de fonctionnement de l'unité au moment de l'accident, cela se fera par les générateurs de vapeur ou par les échangeurs RRA ;
- b) Le maintien d'un appoint en eau borée au circuit primaire ;
- c) le maintien en bon état des joints des pompes du circuit primaire ;
- d) l'évacuation de la puissance résiduelle du combustible usé (piscines CTP + bâtiment DE).

L'analyse effectuée ci-dessous prend également en compte l'identification d'éventuels effets faïse.

Tihange 1

Le scénario considéré ci-dessous prend en compte un accident survenant à Tihange 1 seule.

Dispositions de conception

Le circuit d'eau brute (CEB) de l'unité comprend deux trains de pompage complets – plus une troisième pompe « de réserve » – et peut être alimenté électriquement par les groupes Diesel de secours (GDS). Un train CEB suffit pour amener et maintenir l'unité à l'état d'arrêt à froid (donc stable et contrôlé).

Si le niveau d'eau de la Meuse descendait trop bas pour les pompes CEB, le circuit d'eau de nappe (qui fait partie du CEB) serait aligné manuellement vers les utilisateurs. En cas de rupture d'une grande vanne du barrage d'Ampsin-Neuville, situé en aval du site, le personnel sur site disposerait de 30 minutes, selon le Rapport de Sûreté, pour reconfigurer les circuits de manière à alimenter les utilisateurs en eau de nappe. Des études complémentaires ont été menées dans le cadre de la réévaluation complémentaire de sûreté à la suite de l'incident de Fukushima. Leurs résultats montrent que ces délais peuvent être portés à une valeur de 1 à 2 heures selon le débit de Meuse pris en considération.

Le circuit d'eau de nappe peut évidemment être raccordé manuellement en cas de perte totale de l'aspiration du CEB dans le canal d'amenée pour toute autre raison, comme le bouchage des filtres. Toutefois, les filtres à chaîne situés en amont des pompes CEB sont munis d'un clapet de contournement qui s'ouvre, sous la poussée hydraulique, en cas de perte de charge élevée (50 mbar) à travers le filtre.

De plus, des dispositions sont prises afin de surveiller les filtres et les dégrilleurs : rondes régulières au niveau de la station de pompage pour vérifier l'encrassement des filtres, passage en recirculation de l'unité en cas de crue importante pour éviter l'arrivée massive de feuilles, etc.

Le circuit d'eau de nappe, qui constitue une alimentation en eau de sûreté, peut être alimenté électriquement par les groupes Diesel de secours (GDS). Une réalimentation électrique partielle est également possible par le SUR. Ce circuit dispose de deux puits, chacun équipé de deux pompes dont une seule peut fonctionner à la fois (la deuxième pompe n'est démarrée qu'en cas de défaillance de la première). Ces différents puits sont géographiquement éloignés entre eux et de la station de pompage.

De plus, une liaison par flexibles entre le circuit d'eau de nappe de Tihange 1 et une des pompes CEU de Meuse de Tihange 2 peut être établie.

Si la perte de l'aspiration d'eau brute dans le canal d'amenée se produit lorsque la centrale est en arrêt et que les GV sont indisponibles (refroidissement du cœur par deux pompes RRA), le fonctionnement de deux pompes de puits est requis (pendant un temps limité). Une seule pompe de puits suffit en revanche dans le cas où la perte de l'aspiration dans le canal d'amenée se produit lorsque les GV sont disponibles, ou lorsque la puissance résiduelle a suffisamment diminué pour qu'une seule pompe RRA (et un débit d'eau de nappe limité) puisse refroidir le cœur.

Le circuit d'eau de nappe a une autonomie d'au moins 30 jours si une seule unité est affectée. Dans l'hypothèse d'une rupture au niveau du barrage d'Ampsin-Neuville, seule Tihange 1 puiserait dans la nappe dans la mesure où Tihange 2 et 3 pourraient continuer à aspirer l'eau *via* les prises d'eau en fond de Meuse (*voir la partie relative à Tihange 2 et 3*).

Les opérateurs en salle de commande sont formés sur simulateur au scénario d'une défaillance du barrage Ampsin-Neuville. De plus, la procédure de raccordement du circuit d'eau de nappe est réalisée périodiquement par les équipes de conduite.

Autonomie de l'unité avant début éventuel d'endommagement du combustible

En cas de perte de l'aspiration normale des pompes CEB dans le canal d'amenée, la source froide alternative, c'est-à-dire le circuit d'eau de nappe, doit être raccordée manuellement vers certains utilisateurs. Dans le cas hypothétique – ne faisant pas partie des bases de conception – d'une perte instantanée des pompes CEB, il n'y aurait plus de source froide disponible avant le raccordement du circuit d'eau de nappe. En cas de perte graduelle de l'aspiration des pompes CEB, par exemple en cas de rupture d'une vanne du barrage d'Ampsin-Neuville, les opérateurs disposent d'assez de temps pour raccorder le circuit d'eau de nappe avant la perte des pompes CEB.

Pour les raisons qui viennent d'être exposées, la perte de la source froide est séparée en deux scénarii :

1. Perte instantanée de l'aspiration des pompes CEB depuis le canal d'amenée
2. Perte graduelle de l'aspiration des pompes CEB depuis le canal d'amenée (base de conception)

SCENARIO 1 : PERTE INSTANTANÉE DE L'ASPIRATION DES POMPES CEB DEPUIS LE CANAL D'AMENÉE

Générateurs de vapeur disponibles

Les GV sont alimentés en eau par les pompes EAS, qui puisent dans la bache EAS (120 m³). Sans appoint, l'autonomie de la bache EAS serait limitée à 60 minutes. Un appoint se déclenche cependant automatiquement, grâce à une vanne à flotteur, lorsque l'eau atteint un niveau déterminé. L'eau d'appoint provient des baches interconnectées EDN-B10Dd 1 et 2 (de 240 m³ utiles chacune), par une pompe EDN. Cet apport automatique augmente l'autonomie d'au moins 4 heures. Ce délai est largement compatible avec le temps de lignage de l'eau de nappe.

La pompe PIS, qui puise dans la bache CIS-B01Bi (capacité minimale de 1 330 m³), peut assurer l'injection d'eau froide aux joints des pompes du circuit primaire.

Après le raccordement au circuit d'eau de nappe, on se retrouve dans le scénario 2.

Circuit primaire ouvert

Le refroidissement par les échangeurs RRA n'est possible qu'après le raccordement du circuit d'eau de nappe. Si l'inventaire d'eau est réduit dans le circuit primaire (situation d'arrêt à inventaire réduit, etc.) au moment de l'accident, un appoint au circuit primaire est possible à partir du réservoir B01Bi *via* une des lignes d'injection à basse pression en branche froide. L'utilisation de cet appoint laisse le temps de ligner le circuit d'eau de nappe. On se retrouve alors dans le scénario 2.

Piscine de désactivation

L'analyse ci-dessous est effectuée pour le cas « enveloppe » où le cœur est complètement déchargé en piscine de désactivation.

La piscine n'est pas refroidie avant le raccordement du circuit d'eau de nappe, mais sa température évolue lentement et ne pose pas de problème pendant ce délai.

Après le raccordement au circuit d'eau de nappe, on se retrouve dans le scénario 2.

SCENARIO 2 : PERTE GRADUELLE DE L'ASPIRATION DES POMPES CEB DEPUIS LE CANAL D'AMENÉE

En cas de perte graduelle de l'aspiration normale d'eau de Meuse depuis le canal d'amenée, les puits d'eau de nappe sont raccordés manuellement vers les utilisateurs essentiels, avant la perte totale des pompes CEB.

Une liaison par flexibles entre le circuit d'eau de nappe de Tihange 1 et une des pompes CEU de Meuse de Tihange 2 peut être également réalisée.

La capacité des puits CEU confère une autonomie d'au moins 30 jours lorsqu'une seule unité est affectée.

Générateurs de vapeur disponibles

L'appoint au GV est assuré par l'eau de nappe *via* la bêche et les pompes EAS. À terme, le circuit d'eau de nappe peut amener de l'eau dans la bêche et permet de maintenir le réacteur à l'arrêt stable et contrôlé. L'eau de nappe sera également utilisée pour le refroidissement du réacteur par les échangeurs RRA.

Circuit primaire ouvert

Le refroidissement par les échangeurs RRA est possible en utilisant le circuit d'eau de nappe. Le circuit d'eau de nappe peut maintenir le réacteur à l'arrêt stable et contrôlé.

Piscine de désactivation

Comme signalé précédemment, l'analyse est effectuée pour le cas « enveloppe » où le cœur est complètement déchargé en piscine de désactivation.

Les piscines CTP peuvent être refroidies par le circuit d'eau de nappe.

Conclusions générales pour Tihange 1

Il n'y a pas d'effet falaise en cas de perte de la source froide de manière instantanée ou graduelle. En effet, à Tihange 1, cet accident est géré par utilisation du circuit d'eau de nappe, après raccordement manuel. L'autonomie de l'eau de nappe est d'au moins 30 jours lorsqu'une seule unité est affectée. Cela couvre largement le délai de mise en œuvre de moyens complémentaires provenant du site ou de l'extérieur.

Tihange 2 et 3

Le scénario considéré ci-dessous prend en compte un accident survenant à une seule des deux unités (Tihange 2 ou 3). Le principe est le même pour ces deux unités.

Dispositions de conception

Le circuit d'eau brute (CEB) de chaque unité comprend trois trains de pompage complets puisant dans le canal d'amenée. Deux trains CEB sont nécessaires pour amener et maintenir l'unité à l'état d'arrêt à froid (donc stable et contrôlé) et tous peuvent être alimentés électriquement par les groupes Diesels de secours (GDS).

Il existe également deux prises d'eau profondes en Meuse (qualifiées sismiquement par rapport au DBE) chacune d'une capacité suffisante pour couvrir tous les besoins et pouvant alimenter les pompes CEB en amont des filtres à chaîne. Ces prises d'eau, qui alimentent des conduites souterraines reliant directement la Meuse à la station de pompage en passant sous le canal d'amenée, sont normalement fermées. Si le niveau de la Meuse descend sous celui du fond du canal d'amenée, une de ces connexions avec le fond du fleuve est ouverte manuellement. En cas de rupture instantanée d'une grande vanne du barrage d'Ampsins-Neuville, situé en aval du site, le personnel à Tihange dispose de 2 heures 20 minutes pour ouvrir une de ces connexions, selon le Rapport de Sécurité.

Des études complémentaires ont été menées dans le cadre de la réévaluation complémentaire de sécurité suite à l'incident de Fukushima. Leurs résultats montrent que ces délais peuvent être portés à une valeur de plus de 6 heures.

Ces deux unités sont également dimensionnées pour une perte instantanée de la station de pompage (Circuit d'ultime secours).

La connexion profonde en Meuse pourrait être utilisée également dans le cas où l'aspiration normale des pompes CEB depuis le canal d'amenée deviendrait impossible pour d'autres raisons, par exemple un bouchage des dégrilleurs.

D'autre part, les filtres à chaîne situés en amont des pompes CEB sont munis d'un clapet de contournement qui s'ouvre (sous la poussée hydraulique) en cas de perte de charge élevée (50 mbar) à travers le filtre.

De plus, des dispositions sont prises afin de surveiller les filtres et dégrilleurs : rondes régulières au niveau de la station de pompage pour vérifier l'encrassement des filtres, passage en recirculation de l'unité en cas de crue importante pour éviter l'arrivée massive de feuilles, vérification du fonctionnement correct des dégrilleurs, etc.

En cas de perte totale du circuit d'eau brute (CEB), le circuit d'eau d'ultime secours (CEU) peut fournir l'eau nécessaire pour amener et maintenir la centrale dans l'état d'arrêt stable et contrôlé. Le CEU est composé de trois trains et est alimenté par des tableaux secourus par des groupes Diesel spécifiques du deuxième niveau (GDU). Chaque train du CEU dispose d'une pompe qui puise dans le canal d'amenée (eau de Meuse) et d'une pompe de puits (eau de nappe). Normalement, ces deux pompes ne fonctionnent pas simultanément puisque, selon les situations, une d'elles peut être perdue suite à un accident d'origine externe. Ces différents puits sont géographiquement éloignés entre eux et de la station de pompage.

De plus, une liaison par flexibles permet d'alimenter un puits de Tihange 2 à partir de ceux de Tihange 3.

Dans le cas où la fonction CEB serait perdue à partir du canal d'amenée mais où la Meuse resterait disponible, les pompes CEU de Meuse seraient encore utilisables grâce à l'ouverture de la connexion avec le fond du fleuve (*voir ci-dessus*) qui permet aussi d'alimenter ces pompes.

Si la perte totale de la fonction CEB se produit lorsque la centrale est en arrêt et que les GV sont indisponibles (refroidissement du cœur par 2 trains RRA), le fonctionnement de deux pompes CEU sur six est requis. Une seule pompe CEU suffit en revanche si la perte totale de la fonction CEB se produit lorsque la puissance résiduelle a suffisamment diminué.

Le circuit d'eau de nappe a une autonomie d'au moins 30 jours si une seule unité est affectée.

Les piscines de désactivation du bâtiment DE sont refroidies indirectement par le CEB de Tihange 3. En cas de perte totale de la fonction CEB de Tihange 3, une alimentation en eau de nappe à partir d'une pompe de puits CEU de Tihange 2 ou 3 est prévue.

Autonomie des unités avant début éventuel d'endommagement du combustible

Si la prise d'eau normale depuis le canal d'amenée est perdue, les pompes CEB de Tihange 2 et 3 peuvent aspirer directement depuis le fond de la Meuse. Il faut alors ouvrir une connexion manuelle, ce qui peut se faire dans un délai compatible avec le délai de perte de l'aspiration normale. Même en cas de rupture du barrage d'Ampsin-Neuville, le niveau de la Meuse reste suffisamment élevé pour pouvoir aspirer par cette voie.

Pour les raisons qui viennent d'être exposées, la perte de la source froide est séparée en deux scénarii :

1. Perte de l'aspiration normale d'eau de Meuse depuis le canal d'amenée (base de conception) ;
2. Perte totale d'aspiration d'eau de Meuse (base de conception).

En cas d'une perte instantanée de l'aspiration normale (Tihange 2 et 3), les systèmes du deuxième niveau, alimentés en eau de puits, peuvent être démarrés pour alimenter en eau de refroidissement les systèmes nécessaires au maintien du réacteur en état stable et contrôlé. Après la réalisation de la connexion avec le fond de Meuse, le CEB peut être récupéré. La situation après la réalisation de cette connexion est explicitée dans cette section.

Les opérateurs en salle de commande sont formés sur simulateur au scénario de défaillance du barrage Ampsin-Neuville.

SCENARIO 1 : PERTE DE L'ASPIRATION NORMALE D'EAU DE MEUSE DEPUIS LE CANAL D'AMENÉE

Comme déjà indiqué, il est possible d'établir manuellement une connexion entre l'aspiration des pompes CEB et la prise d'eau du fond de Meuse, ce qui maintient le circuit CEB disponible. L'aspiration en eau profonde et les alimentations externes étant encore disponibles, l'autonomie est alors illimitée.

Générateurs de vapeur disponibles

Dans un premier temps, le cœur est refroidi par les GV alimentés en eau par le circuit EAA. En cas d'épuisement du réservoir EAA, il est possible d'alimenter les GV en utilisant les réserves d'eau déminéralisée puis, si nécessaire, en eau brute. Cela peut se faire par le CEB normal *via* les pompes EAA ou par le circuit AUG du deuxième niveau de protection. Néanmoins, l'autonomie de l'EAA (en tenant compte du secours possible par l'eau brute à Tihange 2 et sans appoint à Tihange 3) permet d'atteindre les conditions d'utilisation du circuit de refroidissement du cœur à l'arrêt (RRA). Ce circuit est lui-même refroidi par le circuit de refroidissement intermédiaire (CRI), pour sa part refroidi par le CEB. Le maintien de l'intégrité des joints est assuré par les pompes CCV. De plus, le CRI refroidit les barrières thermiques des pompes du circuit primaire.

Circuit primaire ouvert

Le CRI (refroidi par le CEB) refroidit le cœur *via* les échangeurs RRA et les piscines CTP *via* les échangeurs CTP.

Piscines de désactivation

Le CRI (refroidi par le CEB) refroidit les piscines CTP *via* les échangeurs CTP.

Piscines de désactivation du DE

Les piscines de désactivation du bâtiment DE sont refroidies indirectement par le CEB de Tihange 3. L'aspiration en eau profonde et les alimentations électriques externes étant encore disponibles, l'autonomie est illimitée.

Dans ce scénario, la source froide reste la Meuse. Il n'y a pas d'effet falaise.

SCENARIO 2 : PERTE TOTALE D'ASPIRATION D'EAU DE MEUSE

La situation de perte totale d'eau de la Meuse est intégrée dans la conception même des systèmes de protection de deuxième niveau de Tihange 2 et Tihange 3.

La source froide est dans ce cas la nappe phréatique. La capacité des puits du CEU, puisant dans la nappe, confère une autonomie d'au moins 30 jours lorsqu'une seule unité est affectée. Cette autonomie est largement suffisante pour attendre l'arrivée de matériels ou d'eau en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site.

Générateurs de vapeur disponibles

Les circuits du deuxième niveau (alimentés en eau par les puits CEU) décrits précédemment peuvent amener et maintenir le réacteur à l'arrêt stable et contrôlé.

Circuit primaire ouvert

Les circuits du deuxième niveau (alimentés en eau par les puits CEU) peuvent maintenir le réacteur à l'arrêt stable et contrôlé.

Piscines de désactivation

Les piscines CTP peuvent être refroidies par les circuits du deuxième niveau de protection (échangeurs CTP alimentés en eau de puits *via* le CRU).

Piscines du DE

Les piscines de désactivation du bâtiment DE sont refroidies *via* les échangeurs STP par le circuit SEU alimenté en eau par les puits CEU.

Conclusions générales pour Tihange 2 et 3

Il n'y a pas d'effet falaise en cas de perte de la source froide de manière instantanée ou graduelle. En effet, à Tihange 2 et 3, cet accident est géré par utilisation du circuit CEB (prise d'eau en fond

de Meuse) ou du circuit CEU (eau de nappe). L'autonomie de l'eau de nappe est d'au moins 30 jours lorsqu'une seule unité est affectée. Cela couvre largement le délai de mise en œuvre de moyens complémentaires provenant du site ou de l'extérieur.

Plusieurs unités du site affectées

La gestion d'une perte de la source froide sur les trois unités dépend essentiellement de la possibilité d'utiliser, ou non, la prise d'eau profonde dans la Meuse pour les unités Tihange 2 et 3.

Si la prise d'eau profonde en Meuse est encore disponible, Tihange 1 utilise l'eau de nappe et Tihange 2 et 3 l'eau de Meuse. L'autonomie est alors d'au moins 30 jours pour Tihange 1 et illimitée pour Tihange 2 et 3. Si les prises d'eau profonde sont toutes perdues, les trois unités se replient sur la nappe phréatique. L'autonomie est alors de trois semaines.

Les bases de conception des unités considèrent l'utilisation de la nappe phréatique par une seule unité. C'est à partir de cette hypothèse que l'autonomie de l'utilisation de l'eau de nappe a pu être déterminée. En cas d'événement affectant plus d'une unité, le cas réaliste de deux unités avec GV disponibles et une unité refroidie *via* le RRA a été considéré.

Dans cette configuration, quatre puits d'eau de nappe seront utilisés pour le site afin de limiter la consommation de l'eau de nappe : deux puits pour l'unité sur RRA, un puits par unité disposant de GV opérationnels. Dans ce cas hors conception, l'autonomie en eau de nappe a été évaluée à environ trois semaines. **De nouvelles procédures seront créées afin de prendre en compte la perte de la source froide principale affectant plus d'une unité.**

Dans ce cas, le contrôle de la température du circuit primaire doit être réalisé par les GV pour les unités où ceux-ci sont opérationnels, afin de limiter la consommation d'eau de nappe en évitant le passage de ces unités sur RRA.

Il faut noter que, pour ce scénario, la piscine de combustible usé de chacune des unités n'est pas toujours refroidie par les circuits conventionnels, afin de maintenir en priorité le refroidissement du circuit primaire. Dans le pire des cas, le refroidissement des piscines se fera par appoint d'eau, en utilisant les différents (et indépendants) moyens non conventionnels présents sur le site et décrits dans les paragraphes précédents. Ils peuvent être mis en œuvre en quelques heures, soit bien avant expiration du délai d'endommagement des assemblages qui est de plusieurs jours.

En phase de révision (arrêt de tranche), l'ensemble du combustible présent dans le circuit primaire de l'unité concernée est déchargé dans sa piscine. Si l'accident survient à ce moment-là, toute la chaleur résiduelle se retrouve dans la piscine. L'eau de nappe sera alors utilisée pour refroidir la piscine *via* les échangeurs CTP.

Piscine DE

Si Tihange 3 fait partie des unités affectées par une perte totale de l'aspiration d'eau de Meuse, la piscine du bâtiment DE n'est plus refroidie par les circuits conventionnels. Pour limiter la consommation en eau de nappe, le refroidissement se fera par appoint d'eau grâce aux différents moyens non conventionnels présents sur le site. Ils peuvent être mis en œuvre en quelques heures, soit avant expiration du délai d'endommagement des assemblages qui est de plus de 20 jours.

5.1.4.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

Comme décrit dans le paragraphe 5.1.4.1, la perte d'eau de Meuse est gérée de différentes manières selon les unités.

À Tihange 1, dans tous les cas, l'unité se replie sur circuit d'eau de nappe après raccordement manuel. L'autonomie dépasse alors 30 jours si une seule unité est affectée. Si les trois unités sont concernées, l'autonomie est d'au moins trois semaines, après minimisation de l'utilisation des puits.

À Tihange 2 et 3, suivant les scénarii décrits en paragraphe 5.1.4.1, la gestion dépend de la disponibilité de la prise d'eau profonde en Meuse. Si celle-ci est disponible, ces vannes sont ouvertes et elle alimente les systèmes de refroidissement normaux (CEB et CRI). Cette situation peut être maintenue indéfiniment, sans affecter le refroidissement des autres unités. Si la prise d'eau profonde est perdue, il faut se replier sur l'eau de nappe, dont l'autonomie dépasse 30 jours lors-

qu'une seule unité est affectée. Si les trois unités sont concernées, l'autonomie est d'au moins trois semaines, après minimisation de l'utilisation des puits.

Le personnel de quart est formé pour répondre à ce type d'accident. Le Plan Interne d'Urgence (PIU) est déclenché et aucun équipement hors site n'est nécessaire à moyen terme.

Des actions extérieures à moyen terme ne sont pas nécessaires pour ce type d'incident. Il faut néanmoins noter qu'en cas de rupture d'une vanne du barrage d'Ampsin-Neuville, le délai d'obstruction de la brèche par les batardeaux de réserve (au nombre de deux) disponibles sur place en permanence, est estimé à un maximum de deux jours par le Service des Voies Hydrauliques. Cela permet, si la structure du barrage est intacte, de récupérer assez rapidement un niveau correct de la Meuse.

5.1.4.3. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

La perte d'eau de Meuse est intégrée dans la conception de base de chacune des trois unités – dans les trois configurations possibles: GV disponibles, GV indisponibles et cœur déchargé – lorsqu'une seule unité puise dans la nappe phréatique (*voir chapitre 1*). Ce type d'accident ne nécessite pas de mesure supplémentaire.

Création et modification de procédure

En revanche, si les trois unités sont amenées à pomper dans la nappe, il convient d'optimiser la consommation d'eau. Les méthodes pour 1) limiter l'aspiration dans la nappe et 2) déterminer le(s) puits à utiliser préférentiellement doivent être incluses dans des procédures et/ou dans la stratégie de gestion d'un accident « multi-unité ».

5.1.5. Perte de la source froide principale et de la source froide « alternative »

La source froide principale de la centrale est une branche artificielle de la Meuse. En cas de perte de l'accès à la Meuse, les unités de Tihange utilisent une source alternative. La perte simultanée des sources froides principale et alternative ne fait pas partie des bases de conception des unités de Tihange. Néanmoins, l'analyse reprise ci-dessous montre que le site dispose de moyens de secours et d'une autonomie suffisante pour la gestion de ce type d'accident compatible avec le délai de mise en place de moyens non conventionnels provenant de l'extérieur en plus de ceux disponibles sur le site.

5.1.5.1 Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible

Le site a, lors de la conception, diversifié ses sources froides afin de réduire le risque de perte simultanée de celles-ci. De ce fait, la perte complète de la source froide principale (la Meuse) et alternative (la nappe phréatique) n'est pas intégrée dans la conception des unités.

En effet, pour ce scénario, il faut considérer la perte successive ou simultanée de :

- l'eau du canal d'amenée alimenté par la Meuse (bras artificiel du fleuve construit pour les trois unités) ;
- l'aspiration d'eau profonde dans le lit naturel de la Meuse, installée pour Tihange 2 et 3 pour pallier une éventuelle baisse de niveau du fleuve ;
- l'eau des puits de la nappe phréatique (chacune des trois unités dispose de plusieurs puits situés à différents endroits du site).

Les analyses ci-dessous considèrent la situation la plus pénalisante – et hautement improbable – d'une perte immédiate et simultanée de toutes ces sources froides, les alimentations électriques externes restant disponibles. En cas de perte graduelle et successive de ces sources (situation plus réaliste), les autonomies seraient supérieures à celles indiquées dans les paragraphes ci-dessous. Les cas décrits ci-dessous sont donc extrêmement conservatifs.

Ces analyses, qui prennent également en compte l'identification d'éventuels effets falaise, supposent que chaque unité utilise ses propres réserves d'eau et équipements. Il faut noter qu'en

cas d'accident affectant moins de trois unités, des transferts d'eau sont toujours possibles, après raccordement, d'une unité à l'autre, augmentant l'autonomie de la ou des unité(s) affectée(s).

La perte complète de la source froide empêchera le fonctionnement continu de différents équipements de sauvegarde de premier et deuxième niveau (en particulier les groupes Diesel) faute de refroidissement – hormis ceux ne nécessitant pas un refroidissement par eau (comme le GDR par exemple qui est aérorefrigéré), ou autoréfrigérés.

La construction d'un nouveau circuit de production d'eau déminéralisée pour l'ensemble du site est en cours. Pour cette réalisation, les investigations menées afin de trouver une source d'eau alternative à la Meuse ont révélé l'existence d'une nappe profonde. Trois puits ont été creusés dans cette nappe et équipés de pompes. Il est d'ores et déjà possible d'utiliser cette source d'eau à l'aide de flexibles. Les autonomies estimées ci-dessous n'ont pas pris en compte cette nouvelle source d'eau.

Tihange 1

Générateurs de vapeur disponibles

Les GV sont alimentés en eau par les pompes EAS autorefroidies, qui puisent dans la bache EAS (120 m³).

Sans appoint, l'autonomie de la bache EAS serait limitée à 60 minutes. Un appoint se déclenche cependant automatiquement, grâce à une vanne à flotteur, lorsque l'eau atteint un niveau déterminé. L'eau d'appoint provient des baches interconnectées EDN-B10Dd 1 et 2 (de 240 m³ utiles chacune) *via* une pompe EDN. Après l'épuisement de ces réservoirs, il est possible d'envoyer l'eau des baches tampon du condenseur (CEE 1B01Vc et 2B01Vc, de 260 m³ utiles chacune) vers les GV.

La température doit être abaissée à environ 120 °C dans le circuit primaire afin de se passer de l'injection aux joints des pompes primaires (la réserve en eau d'injection aux joints permet largement de couvrir le délai avant atteinte de ces températures).

Les volumes d'eau disponibles (1 120 m³) et l'inertie d'eau présente dans les GV permettent un refroidissement par les GV pendant au moins 1,5 jour.

Une réserve d'eau supplémentaire disponible dans les deux condenseurs pourrait également être utilisée (environ 320 m³). En cas de besoin ultime en eau, elle peut être envoyée aux GV en démarant temporairement des équipements refroidis par l'inertie de la masse d'eau contenue dans le circuit de refroidissement.

Dans le cas où le refroidissement par les GV est perdu et aucune alimentation alternative des GV n'est trouvée, il est possible de placer le circuit primaire en situation de « gavé-ouvert » en y injectant directement de l'eau borée et en évacuant l'eau chaude par les soupapes SEBIM du pressuriseur. Bien que le refroidissement correct des pompes CIS (HP et BP) et les pompes de secours CAE ne soit pas garanti, l'opérateur peut réaliser le « gavé-ouvert » avec ces pompes en comptant sur l'inertie thermique et la très faible charge des circuits de refroidissement.

Des pompes CTP peuvent être utilisées comme moyens supplémentaires pour la réalisation de ce « gavé-ouvert ».

L'intégrité des joints des pompes primaires est assurée par la pompe d'injection de secours (PIS), qui puise dans la bache CIS-B01Bi (capacité minimale de 1 330 m³, soit une autonomie d'au moins 9 jours) dont la réserve d'eau est suffisante pour atteindre une température primaire de 120 °C. Le passage à l'arrêt à froid (AAF) n'est pas possible tant qu'il n'y a pas de source froide pour le RRA.

Étant donné la perte de toutes les sources froides, l'effet falaise survient lors de la perte d'eau pour le refroidissement des GV (après environ 1,5 jour). Ce délai permet largement de mettre en place des moyens alternatifs d'appoint disponibles sur le site.

En effet, il est possible d'effectuer un appoint *via* le réseau d'incendie par des moyens non conventionnels, en l'occurrence un groupe motopompe mobile puisant directement dans le lit de la Meuse. Grâce à ces moyens, cet effet falaise est donc évité.

Circuit primaire ouvert

Le principe « gavé-ouvert » s'applique alors pour le circuit primaire. La vapeur est évacuée par un ventilateur VBP vers la cheminée et ses systèmes de filtration.

Le temps de réaction requis dépend de l'inventaire d'eau dans le circuit primaire, piscine réacteur comprise. En cas de situation de circuit primaire à inventaire réduit, la plus pénalisante, un appoint gravitaire à partir du réservoir B01Bi *via* une des lignes d'injection basse pression en branche froide est requis. Ensuite, la pompe CTP-P04Bd assure l'appoint au circuit primaire.

Sans appoint d'eau supplémentaire ou remise en service du refroidissement, l'eau du B01Bi injectée vers le circuit primaire est évaporée en un peu plus de 5 jours. Un chemin d'évacuation de la vapeur est prévu afin d'éviter de pressuriser le bâtiment réacteur. Si la vapeur du bâtiment réacteur (BR) n'est pas évacuée, et sans utilisation de l'aspersion dans l'enceinte, la pression risque d'endommager cette structure après 3 à 4 jours.

L'unité dispose également d'une réserve d'eau dans ses accumulateurs CIS, qui peut être utilisée en fonction de l'état de remplissage de ces derniers au moment de la perte des sources froides. Enfin, les réserves d'eau des réservoirs CAB peuvent aussi être utilisées.

L'effet falaise survient au moment où tous les réservoirs d'eau borée sont vides. Le réservoir B01Bi confère à lui seul une autonomie bien supérieure à 72 heures. Cette autonomie couvre le temps d'arrivée de matériels ou d'eau en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site. Comme déjà mentionné, en plus des réserves disponibles dans les autres réservoirs d'eau borée, une liaison extérieure est prévue pour venir connecter un camion-citerne contenant du bore pour réaliser un appoint au réservoir B01Bi. Grâce à ces moyens, cet effet falaise est donc évité.

Piscine de désactivation

Comme signalé précédemment, la situation est analysée dans le cas « enveloppe » où le cœur est complètement déchargé en piscine de désactivation.

La piscine de désactivation n'est plus refroidie par les circuits normaux. Le principe de gestion de la piscine reste identique à celui défini précédemment. L'évaporation commence environ 10 heures après la perte des circuits normaux de refroidissement.

Des moyens non conventionnels peuvent être mis en place pour assurer un appoint en eau en quelques heures, donc bien avant le début du découvrage des assemblages, qui survient en théorie au moins 4 jours après la perte du refroidissement normal (tube de transfert du combustible fermé).

En pratique, le site utilise un couvercle temporaire sur la cuve du réacteur après déchargement complet du cœur. Ce dernier permet de vider partiellement le CRP tout en maintenant la piscine BR remplie. L'important volume d'eau contenu dans les piscines BR et BAN-D, qui restent alors connectées (tube de transfert du combustible ouvert), augmente considérablement leur inertie thermique, maintenant le combustible sous eau pendant au moins 9 jours.

Le refroidissement du combustible est maintenu par évaporation et appoint en eau, mis en œuvre en quelques heures. L'accès au local sera à terme rendu difficile par la présence de vapeur dans le bâtiment. De ce fait, les éventuelles opérations dans le local doivent être réalisées au plus tôt. **Des procédures seront créées pour la gestion des piscines dans ce type de scénario. La mise en place de mesures de niveau supplémentaires est également en cours d'analyse.**

La situation à éviter est le découvrage des assemblages (effet falaise). Le temps de mise en œuvre des appoints en eau est compatible avec les délais repris ci-dessous. Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Des chemins d'évacuation de la vapeur sont prévus afin de maintenir une pression acceptable dans le bâtiment de la piscine.

À titre comparatif, lorsque l'unité est en puissance (une partie du combustible est dans le cœur et l'autre dans la piscine de désactivation), elle dispose, sans appoint d'eau, d'au moins 40 heures avant le début de l'évaporation et 16 jours avant le découvrage du combustible dans la piscine.

Tihange 2

Générateurs de vapeur disponibles

Les générateurs de vapeur peuvent être alimentés par les pompes EAA autorefroidies qui puisent dans le réservoir EAA (capacité totale 690 m³, contenu garanti par les spécifications techniques 600 m³).

Après l'épuisement de ce réservoir, le contenu des réservoirs suivants peut être envoyé vers les GV :

- EDN B06 : capacité 800 m³, contenu moyen de 600 m³ ;
- EDN B07 : capacité 300 m³, contenu moyen de 200 m³ ;
- Condenseur : contenu moyen 170 m³ ;
- PED B01 : contenu moyen 110 m³.

Pour le calcul ci-dessous, on se base sur un volume d'eau moyen dans le réservoir EAA (645 m³) et sur ceux constatés dans les autres réservoirs (soit 1 080 m³).

Lorsque ces réserves sont épuisées, les GV peuvent être alimentés par les pompes de deuxième niveau (AUG) autorefroidies qui puisent dans les réservoirs CUS (volume utile 3 x 147 m³).

La température doit être abaissée à environ 120 °C dans le circuit primaire afin de se passer de l'injection aux joints des pompes primaires (la réserve en eau d'injection aux joints permet largement de couvrir le délai avant atteinte de ces températures).

Les volumes d'eau disponibles (2 166 m³) et l'inertie d'eau présente dans les GV permettent un refroidissement par les GV pendant au moins 3,5 jours.

Dans le cas où le refroidissement par les GV est perdu et aucune alimentation alternative des GV n'est trouvée, il est possible de placer le circuit primaire en situation de « gavé-ouvert » en y injectant directement de l'eau borée et en évacuant l'eau chaude par les vannes de décharge du pressuriseur. Bien que le refroidissement correct des pompes CIS (HP et BP) et les pompes CAE ne soit pas garanti, l'opérateur peut réaliser le « gavé-ouvert » avec ces pompes en comptant sur l'inertie thermique et la très faible charge des circuits de refroidissement.

Des pompes CCV et CTP peuvent être utilisées comme moyens supplémentaires pour la réalisation de ce « gavé-ouvert ».

L'injection aux joints des pompes primaires peut être exécutée (manuellement) par la pompe CCV P07 puisant dans le réservoir CTP. En cas de perte de débit d'injection aux joints des pompes primaires, le refroidissement est automatiquement repris par le CRU (réservoirs communs à l'AUG). L'inventaire du circuit primaire peut être maintenu par les pompes CIU qui puisent dans le réservoir CUS, ou par les pompes CIS (fonctionnement limité) qui puisent dans les réservoirs CTP.

En cas de perte simultanée de toutes les sources froides, l'effet falaise survient au moment de la perte d'eau pour le refroidissement des GV. Cela demandera environ 3,5 jours, un délai suffisant pour permettre la mise en place de moyens compensatoires. Cet effet falaise est donc évité.

Circuit primaire ouvert

En cas d'inventaire réduit dans le circuit primaire, le contenu des réservoirs CTP peut y être envoyé. Sans appoint d'eau supplémentaire ou remise en service du refroidissement, l'eau des réservoirs CTP est évaporée en au moins 6 jours. Un chemin d'évacuation de la vapeur est prévu afin d'éviter de pressuriser le bâtiment réacteur. Si la vapeur de bâtiment réacteur (BR) n'est pas évacuée, et sans utilisation de l'aspersion dans l'enceinte, la pression risque d'endommager cette structure après 3 à 4 jours.

L'unité dispose également d'une réserve d'eau dans ses accumulateurs CIS, qui peut être utilisée en fonction de l'état de remplissage de ces derniers au moment de la perte des sources froides. Enfin, les réserves d'eau des réservoirs CAB et CUS (environ 450 m³) peuvent aussi être utilisées. L'effet falaise survient lorsque tous les réservoirs d'eau borée sont vides. Les réservoirs CTP confèrent à eux seuls une autonomie bien supérieure à 72 heures. Cette autonomie permet d'attendre l'arrivée de matériel ou d'eau en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site. Grâce à ces moyens, cet effet falaise est donc évité.

Piscines de désactivation

Comme signalé précédemment, la situation est analysée dans le cas « enveloppe » où le cœur est complètement déchargé en piscine de désactivation.

La piscine de désactivation n'est plus refroidie par les échangeurs CTP. Le principe de gestion de la piscine reste identique à celui défini précédemment.

L'évaporation commence environ 8 heures après la perte des circuits normaux de refroidissement.

Des moyens classiques et non conventionnels peuvent être mis en place pour assurer un appoint en eau en quelques heures, donc bien avant le début du découvrement des assemblages, qui survient en théorie au moins 2 jours après la perte du refroidissement normal dans le cas conservatif où le tube de transfert du combustible est fermé.

En pratique, le site utilise un couvercle temporaire sur la cuve du réacteur après déchargement complet du cœur. Ce dernier permet de vider partiellement le CRP tout en maintenant la piscine BR remplie. L'important volume d'eau contenu dans les piscines BR et BAN D, qui restent alors connectées (tube de transfert du combustible ouvert), augmente considérablement leur inertie thermique, maintenant le combustible sous eau pendant au moins 6 jours.

Le refroidissement du combustible est maintenu par évaporation et appoint en eau, mis en œuvre en quelques heures. L'accès au local peut cependant être rendu difficile par la présence de vapeur dans le bâtiment. Les éventuelles opérations dans le local doivent donc être réalisées au plus tôt. **Comme déjà mentionné, des procédures seront créées pour la gestion des piscines dans ce type de scénario.**

La mise en place de mesures de niveau supplémentaires est également en cours d'analyse.

La situation à éviter est le découvrement des assemblages (effet falaise). Le temps de mise en œuvre des appoints en eau est compatible avec les délais repris ci-dessus. Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Des chemins d'évacuation de la vapeur sont prévus afin de maintenir une pression acceptable dans le bâtiment de la piscine.

À titre comparatif, lorsque l'unité est en puissance (une partie du combustible est dans le cœur et l'autre dans la piscine de désactivation), elle dispose, sans appoints d'eau, d'au moins 24 heures avant le début de l'évaporation et 6 jours avant le découvrement du combustible dans la piscine.

Tihange 3

Générateurs de vapeur disponibles

Les générateurs de vapeur peuvent être alimentés par les pompes EAA autorefroidies qui puisent dans le réservoir EAA (capacité totale 800 m³, contenu garanti par les spécifications techniques 736 m³).

Après l'épuisement de ce réservoir, le contenu des réservoirs suivants peut être envoyé vers les GV :

- EDN B05 : capacité 800 m³, contenu moyen de 620 m³ ;
- EDN B07 : capacité 500 m³, contenu moyen 390 m³ ;
- Condenseur : contenu moyen 350 m³ ;
- PED B03 : contenu moyen en eau brute 110 m³.

Pour le calcul ci-dessous, on se base sur un volume d'eau moyen dans le réservoir EAA (768 m³) et sur ceux actuellement constatés dans les autres réservoirs (soit 1 470 m³).

Lorsque ces réserves sont épuisées, les GV peuvent être alimentés par les pompes de deuxième niveau (AUG) autorefroidies qui puisent dans les réservoirs CUS (volume utile 3 x 95 m³).

La température doit être abaissée à environ 120 °C dans le circuit primaire afin de se passer de l'injection aux joints des pompes primaires (la réserve en eau d'injection aux joints permet largement de couvrir le délai avant atteinte de ces températures).

Les volumes d'eau disponibles (2523 m³) et l'inertie d'eau présente dans les GV permettent un refroidissement par les GV pendant au moins 5 jours.

Dans le cas où le refroidissement par les GV est perdu et aucune alimentation alternative des GV n'est trouvée, il est possible de placer le circuit primaire en situation de « gavé-ouvert » en y injectant

tant directement de l'eau borée et en évacuant l'eau chaude par les vannes de décharge du pressuriseur. Bien que le refroidissement correct des pompes CIS (HP et BP) et des pompes de secours CAE ne soit pas garanti, l'opérateur peut réaliser le « gavé-ouvert » avec ces pompes en comptant sur l'inertie thermique et la très faible charge des circuits de refroidissement.

Des pompes CCV et CTP peuvent être utilisées comme moyens supplémentaires pour la réalisation de ce « gavé-ouvert ».

L'injection aux joints des pompes primaires est assurée par la pompe IJU puisant dans le réservoir CUS en cas de perte de l'injection normale.

L'inventaire du circuit primaire peut être maintenu par les pompes CIU qui puisent dans le réservoir CUS.

En cas de perte simultanée de toutes les sources froides, l'effet falaise survient lors de la perte d'eau pour le refroidissement des GV. Cela demandera environ 5 jours, un délai suffisant pour permettre l'arrivée de matériel extérieur. Cet effet falaise est donc évité.

Circuit primaire ouvert

En cas d'inventaire réduit dans le circuit primaire, le contenu des réservoirs CTP peut y être envoyé. Sans appoint d'eau supplémentaire ou remise en service du refroidissement, l'eau des réservoirs CTP est évaporée en au moins 6 jours. Un chemin d'évacuation de la vapeur est prévu afin d'éviter de pressuriser le bâtiment réacteur. Si la vapeur du bâtiment réacteur (BR) n'est pas évacuée, et sans utilisation de l'aspersion dans l'enceinte, la pression risque d'endommager cette structure après 3 à 4 jours.

L'unité dispose également d'une réserve d'eau dans ses accumulateurs CIS, qui peut être utilisée en fonction de l'état de remplissage de ces derniers au moment de la perte des sources froides. Enfin, les réserves d'eau des réservoirs CAB et CUS (environ 450 m³) peuvent aussi être utilisées.

L'effet falaise survient lorsque tous les réservoirs d'eau borée sont vides. Les réservoirs CTP confèrent à eux seuls une autonomie bien supérieure à 72 heures. Cette autonomie permet d'attendre l'arrivée de matériel ou d'eau en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site. Grâce à ces moyens, cet effet falaise est donc évité.

Piscines de désactivation

Comme signalé précédemment, la situation est analysée dans le cas « enveloppe » où le cœur est complètement déchargé en piscine de désactivation.

La piscine de désactivation n'est plus refroidie par les circuits normaux. Le principe de gestion de la piscine reste identique à celui défini précédemment.

L'évaporation commence environ 9 heures après la perte des circuits normaux de refroidissement. Des moyens classiques et non conventionnels peuvent être mis en place pour assurer un appoint en eau en quelques heures, donc bien avant le début du découverture des assemblages, qui survient en théorie au moins 3 jours après la perte du refroidissement normal (tube de transfert du combustible fermé).

En pratique, le site utilise un couvercle temporaire sur la cuve du réacteur après déchargement complet du cœur. Ce dernier permet de vider partiellement le CRP tout en maintenant la piscine BR remplie. L'important volume d'eau contenu dans les piscines BR et BAN-D, qui restent alors connectées (tube de transfert du combustible ouvert), augmente considérablement leur inertie thermique, maintenant le combustible sous eau pendant au moins 6 jours.

Le refroidissement du combustible est maintenu par évaporation et appoint en eau, mis en œuvre en quelques heures. L'accès au local sera rendu difficile à terme par la présence de vapeur dans le bâtiment. De ce fait, les éventuelles opérations dans le local doivent être réalisées au plus tôt. **Comme déjà mentionné, des procédures seront créées pour la gestion des piscines dans ce type de scénario. La mise en place de mesures de niveau supplémentaires est également en cours d'analyse.**

La situation à éviter est le découverture des assemblages (effet falaise). Le temps de mise en œuvre des appoints en eau est compatible avec les délais repris ci-dessus. Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Des chemins d'évacuation de la vapeur sont prévus afin de maintenir une pression acceptable dans le bâtiment de la piscine.

À titre comparatif, lorsque l'unité est en puissance (une partie du combustible est dans le cœur et l'autre dans la piscine de désactivation), elle dispose, sans appoint d'eau, d'au moins 30 heures avant le début de l'évaporation et 9 jours avant le découvrément du combustible dans la piscine.

Piscines DE

Les piscines de combustible usé du bâtiment DE ne sont pas refroidies par les circuits normaux pour ce scénario. L'évaporation commence environ 4 jours après la perte du refroidissement des piscines. Des moyens non conventionnels, mis en œuvre en quelques heures, sont prévus pour réaliser l'appoint en eau avant le découvrément des assemblages (au moins 3 semaines). Une évacuation de cette vapeur est également prévue.

Le refroidissement du combustible est maintenu par évaporation et appoint en eau, mis en œuvre en quelques heures. L'évaporation commence après au moins 4 jours, ce qui laisse suffisamment de marge pour l'appoint en eau à cette piscine. Le temps de mise en œuvre des appoints en eau est compatible avec les temps repris ci-dessus. Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Plusieurs unités affectées

L'analyse ci-dessus a été effectuée de manière indépendante pour chacune des unités. De ce fait, le cas « plusieurs unités affectées » n'implique pas de contraintes supplémentaires car chaque unité utilise à court terme ses propres moyens et ses propres réserves.

5.1.5.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

Comme exposé au chapitre précédent, la perte complète de la source froide empêchera le fonctionnement continu de différents équipements de sauvegarde de premier et deuxième niveau (en particulier les groupes Diesel) faute de refroidissement – hormis ceux ne nécessitant pas un refroidissement par eau, ou autoréfrigérés.

Ce type d'accident est géré par les opérateurs en salle de commande et le personnel d'astreinte, dans un premier temps selon les procédures « accident » (jusqu'à épuisement des réservoirs) puis selon les guides d'accidents graves SAMG en cas de détérioration de la situation (critères définis dans les procédures).

Les opérateurs en salle de commande suivent des formations et recyclages sur la gestion des incidents, accidents et accidents graves. L'équipe de crise reçoit également une formation sur la gestion des accidents graves.

Le Plan Interne d'Urgence sera déclenché (rappel d'astreinte) et, en cas de nécessité (par décision du responsable gestion de crise), le bureau d'étude pourra être mobilisé, comme décrit dans le chapitre 6.

L'accident sera géré selon les procédures « accident » et « surveillance des fonctions critiques ». Dans le cas particulier du CRP ouvert, les procédures « accident » dans leur état actuel ne décrivent pas complètement la gestion de cet accident hors conception – typiquement, les voies d'évacuation de la vapeur ont été prévues mais les procédures n'en tiennent pas compte pour ce type de scénario. **Les différentes procédures seront amendées pour la prise en compte des différents aspects mis en évidence pour ce type d'accident. De plus une stratégie globale de gestion de ce type d'accident hors conception sera mise en place.**

Refroidissement des piscines de désactivation

Le refroidissement du combustible usé se fera par ébullition de l'eau contenue dans ces piscines. Un appoint est possible par les circuits conventionnels (CTP, EDN, CAB) ou non conventionnels, et peut être réalisé dans des délais inférieurs (moins d'une heure pour les moyens conventionnels, et en quelques heures pour les moyens non conventionnels) au temps de découvrément des assemblages (plusieurs jours).

L'appoint à la piscine sera effectué par le personnel d'astreinte et/ou les opérateurs.

Refroidissement des piscines d'entreposage à long terme (bâtiment DE)

Le refroidissement du combustible usé du DE se fera par ébullition de l'eau contenue dans ces piscines, ce qui confère un délai avant endommagement du combustible d'au moins 3 semaines sans appoint d'eau. Un appoint est possible endéans ce délai par les circuits conventionnels (STP, SDN, SAB, etc.) ou non conventionnels (*voir ci-dessous*), et peut être réalisé dans des délais inférieurs à une heure pour les moyens conventionnels et à quelques heures pour les moyens non conventionnels ultimes (temps indicatifs).

Moyens ultimes

Voici de manière succincte, selon les unités, les moyens ultimes (moyens non conventionnels) disponibles sur le site) pouvant être mis en place pour maintenir le refroidissement des piscines (CTP et DE).

Pour Tihange 1, il s'agit d'une alimentation en eau d'incendie de la piscine de désactivation. Cela peut se faire soit indirectement par une bouche d'incendie alimentant le réservoir de remplissage de la piscine, soit directement à partir d'une bouche d'incendie alimentant la piscine. La pressurisation de ce circuit peut être assurée dans la Meuse par une pompe mobile (disponible sur site) immergée, appoint par un camion-citerne *via* le circuit CMU. Il faut également noter que si une autre unité du site dispose encore de sa source froide principale, elle pourra mettre le circuit incendie du site en pression par ses propres pompes incendie.

Comme déjà mentionné, cette eau d'incendie peut aussi être utilisée pour remplir le réservoir EAS de Tihange 1.

Pour Tihange 2, il s'agit également d'une réalimentation par le circuit incendie qui peut être mis en pression par la pompe incendie d'une autre unité non affectée ou par une motopompe installée dans le lit de la Meuse. Cela se fait à partir de n'importe quelle borne incendie du circuit, pour réalimenter les piscines de désactivation.

Pour Tihange 3, il s'agit de la réalimentation des piscines de désactivation et d'entreposage long terme (DE) à partir des réservoirs d'effluents du circuit primaire.

Ces moyens non conventionnels sont mis en place par le personnel d'astreinte de Maintenance et utilisés par le personnel de quart chargé des opérations (aidé du personnel d'astreinte).

La centrale de Tihange ayant diversifié ses sources froides, aucun équipement n'est actuellement présent hors du site pour la gestion de ce type d'accident.

Néanmoins, comme déjà mentionné dans le chapitre précédent, il faut noter qu'en cas de rupture d'une vanne du barrage d'Ampsin-Neuville, le délai d'obstruction de la brèche par les batardeaux de réserve (au nombre de deux), disponibles sur place en permanence, est estimé à un maximum de deux jours par le Service des Voies hydrauliques. Cela permet, si la structure du barrage est intacte, de récupérer assez rapidement un niveau correct de la Meuse.

5.1.5.3. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

Diversification des sources

La construction d'un nouveau circuit de production d'eau déminéralisée pour l'ensemble du site est en cours.

Trois puits creusés à grande profondeur dans cette zone ont permis d'atteindre un débit global d'environ 105 m³/h. Des essais de pompage de longue durée ont 1) confirmé la capacité de cette nappe calcaire et 2) démontré son indépendance vis-à-vis de la nappe phréatique.

Ce nouveau circuit dispose :

- d'un réservoir de 2000 m³ ;
- d'une réalimentation de ce réservoir par trois puits creusés dans la nappe profonde ;
- d'une nouvelle liaison « intertranche », reliant les trois unités, d'un débit maximum d'environ 120 m³/h (l'ancienne liaison d'EDN « intertranche » reste disponible).

Source froide alternative

Le site de Tihange dispose de deux sources aquifères totalement indépendantes de la nappe phréatique alluviale, et indépendantes entre elles quant à leurs modes de réalimentation. Il s'agit d'une nappe aquifère calcaire et d'une nappe aquifère de dolomies. Deux puits sont creusés dans la nappe calcaire et un dans la nappe de dolomies. Les pompages dans ces puits sont destinés à la production d'eau déminéralisée pour l'ensemble du site. Ces deux sources supplémentaires, certes de capacités différentes, mènent en fait à 4 sources froides différentes pour le site de Tihange (dont deux d'entre elles sont de sûreté).

Des piquages ont d'ores et déjà été installés sur ce nouveau circuit (au niveau de l'aspiration des puits) à destination de moyens mobiles.

La nappe profonde constituera donc une source d'eau supplémentaire, pouvant être sollicitée en cas de défaillance des autres. Grâce aux tuyauteries de liaison « intertranche », cette source peut alimenter les trois unités. Sa capacité dépasse les besoins en eau des GV à long terme.

Modification ou création de procédures

Il convient de créer ou modifier des procédures afin de :

- définir une stratégie globale pour cet accident (perte de toutes les sources froides) non pris en compte lors de la conception (gestion de la pression d'enceinte en régime « gavé-ouvert », utilisation optimale des moyens disponibles, etc.) ;
- intégrer ces nouveaux scénarii dans les procédures actuelles ;
- intégrer l'utilisation de la nouvelle installation d'eau déminéralisée pour la réalimentation des tranches par des moyens non conventionnels ou conventionnels.

5.1.6. Perte de la source froide principale combinée à la perte des alimentations électriques externes et internes du premier niveau

La source froide principale de la centrale est une branche artificielle de la Meuse. En cas de perte de l'accès à celle-ci, les unités de Tihange utilisent une source alternative. La perte des alimentations électriques externes et du premier niveau, empêche l'utilisation des pompes premier niveau aspirant à partir de la source froide principale. La perte des alimentations électriques extérieures et du premier niveau mène donc implicitement à une perte de l'accès à la Meuse pour les pompes du premier niveau. L'analyse reprise ci-dessous montre que le site dispose de moyens de secours et d'une autonomie suffisante compatible avec le délai de rétablissement d'une alimentation électrique externe ou de réapprovisionnement de l'extérieur.

5.1.6.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible

Ce scénario suppose la perte des alimentations électriques extérieures (lignes à très haute tension) et des groupes Diesel de secours du premier niveau (groupes Diesel GDS et GDR), combinée à l'impossibilité d'accéder à l'eau de Meuse. Le premier niveau de protection étant perdu (TPA EAA exclue), il faut se replier sur le système d'ultime secours, un niveau de protection supplémentaire propre au site de Tihange. Les trois unités disposent par ailleurs d'une source froide alternative à l'eau de Meuse. L'analyse effectuée ci-dessous prend également en compte l'identification d'éventuels effets faibles.

Note: le groupe Diesel de réserve, bien que refroidi par des aéroréfrigérants, est supposé indisponible, pour des raisons de cohérence du scénario.

Tihange 1

Pour des raisons liées à la disponibilité en sources froides alternatives, exposées précédemment, la perte de la source froide principale est séparée en deux scénarii :

- Perte instantanée de l'aspiration des pompes CEB dans le canal d'aménée ;
- Perte graduelle de l'aspiration des pompes CEB dans le canal d'aménée (base de conception).

Dans les deux cas, la source froide sera l'eau de la nappe phréatique. La principale différence dans ces deux situations est le temps disponible avant la mise en service manuelle de l'eau de nappe. Ce point a été discuté précédemment et les réserves disponibles sur l'unité permettent de couvrir le délai de mise en service de l'eau de nappe.

La situation de perte de l'eau Meuse combinée à un *station black-out* est prévue à Tihange 1. Il est alors fait appel au Système d'Ultime Repli (procédures dites « hors dimensionnement H3 » et « utilisation des puits »).

La gestion de cet accident et l'autonomie du SUR sont identiques à celles décrites au paragraphe 5.1.2.1 (perte de l'alimentation électrique de secours de premier niveau).

Piscine de désactivation

Dans ce scénario, la piscine de désactivation n'est pas refroidie par un circuit en boucle fermée. Il est néanmoins possible d'effectuer des appoints en eau par simple gravité, soit par la pompe P04Bd *via* le réservoir B01Bi, soit par des moyens non conventionnels en quelques heures, donc bien avant le découverture des assemblages (quelques jours).

Lorsqu'une seule unité est affectée, l'autonomie de l'eau de nappe est d'au moins 30 jours. Le recours au SUR permet de tenir au-delà des 72 heures en utilisant uniquement les équipements et réserves disponibles sur site. Ces délais permettent de couvrir le temps d'arrivée de matériels ou d'un appoint d'eau d'une autre unité ou de l'extérieur.

Il n'y a donc pas d'effet falaise dans ce cas.

Tihange 2 et 3

Pour des raisons liées à la disponibilité en sources froides alternatives, exposées précédemment, la perte de la source froide principale est séparée en deux scénarii :

1. Perte de l'aspiration normale d'eau de Meuse depuis le canal d'amenée (base de conception)
2. Perte totale d'aspiration d'eau de Meuse (base de conception).

Dans le premier cas, la source froide peut être soit les puits (autonomie limitée) soit la Meuse *via* les prises d'eau profondes (autonomie illimitée). Dans le deuxième cas, la source froide alternative est l'eau de nappe (autonomie limitée).

L'accident mène à la perte du premier niveau de protection – à l'exception de la TPA-EAA qui fonctionnera jusqu'à l'épuisement des réserves d'eau ou des batteries (sans action extérieure), ou un ordre (manuel ou automatique) d'arrêt. Par conception, il est fait appel au second niveau de protection, qui utilise la source froide principale (Meuse) ou la source froide alternative (puits dans la nappe phréatique), et des groupes Diesel d'ultime secours (GDU). Ces systèmes permettent d'amener et maintenir le réacteur à l'arrêt stable et contrôlé, et de refroidir les piscines de désactivation CTP (*voir paragraphes 5.1.2.3 et 5.1.2.4*).

Les GDU démarrent automatiquement endéans les 20 secondes qui suivent la perte de tension électrique. La gestion de cet accident et l'autonomie des GDU sont identiques à celles décrites au paragraphe 5.1.2.1 (perte des alimentations externes et des groupes Diesel de premier niveau).

Piscines de désactivation

Le refroidissement des piscines CTP (Tihange 2 et 3) et DE (Tihange 3) est assuré par les moyens conventionnels *via* les échangeurs de ces circuits respectifs refroidis en eau de nappe (ou en eau de Meuse).

En cas de perte totale de l'aspiration de l'eau de Meuse (donc y compris la prise profonde), l'autonomie de l'eau de nappe est d'au moins 30 jours lorsqu'une seule unité est affectée.

Si l'unité affectée est Tihange 3, les piscines de désactivation du bâtiment DE peuvent être refroidies par les puits CEU de Tihange 2 ou Tihange 3. Le refroidissement des piscines est assuré par les échangeurs CTP alimentés par l'eau de nappe.

Les circuits du deuxième niveau de protection, alimentés par des groupes Diesel GDU, peuvent amener et maintenir le réacteur à l'arrêt stable et contrôlé, et refroidir les piscines CTP et DE (Tihange 3). Il n'y a donc pas d'effet falaise pour ce scénario.

Le seul problème possible est l'épuisement du gazole pour les groupes Diesel GDU, qui survient après au minimum une semaine. Cette autonomie permet de mettre en œuvre des moyens compensatoires. En ce qui concerne la source froide alternative, l'autonomie en eau est illimitée si l'aspiration en fond de Meuse reste disponible, et d'au moins 30 jours (une seule unité affectée) si elle est perdue (autonomie de l'eau de nappe). Cette autonomie permet de mettre en œuvre des moyens compensatoires.

Plusieurs unités du site affectées

Le principe de gestion pour Tihange 1 est similaire au cas « Tihange 1 uniquement affectée ». La particularité sera l'utilisation commune de la nappe phréatique.

Le principe de gestion pour Tihange 2 ou 3 est similaire au cas « Tihange 2 ou Tihange 3 seule affectée ». La particularité sera l'utilisation commune de la nappe phréatique si les aspirations en fond de Meuse de l'unité 2 ou/et 3 est (sont) indisponible(s) (voir paragraphe 5.1.4.1.).

Une liaison par flexibles entre le circuit d'eau de nappe de Tihange 1 et une des pompes CEU de Meuse de Tihange 2 peut également être réalisée.

Piscines de désactivation

Dans le pire des cas, le refroidissement des piscines se fera par appoint d'eau grâce à des moyens non conventionnels (pompes mobiles, flexibles, groupes Diesel) présents sur le site. Ils peuvent être mis en œuvre en quelques heures, soit avant expiration du délai avant endommagement du combustible qui est de plusieurs jours. Il faut alors mettre en place des voies d'évacuation de la vapeur.

En phase de révision (arrêt de tranche), l'ensemble du combustible présent dans le circuit primaire de l'unité concernée est déchargé dans sa piscine. Si l'accident survient à ce moment, toute la chaleur résiduelle se retrouve dans la piscine. L'eau de nappe sera alors également utilisée pour refroidir la piscine par les échangeurs.

Piscine DE

Si plusieurs unités, dont Tihange 3, sont affectées par une perte totale d'aspiration d'eau de Meuse, les piscines de désactivation du bâtiment DE ne peuvent pas être refroidies par les circuits classiques (limitation de la source froide) à court terme. Des moyens non conventionnels (pompes, flexibles, groupes Diesel), mis en œuvre en quelques heures, sont prévus pour réaliser l'appoint en eau avant le découverture des assemblages (au moins 3 semaines). Une évacuation de cette vapeur est également prévue.

Une liaison par flexibles permet également d'alimenter un puits de Tihange 2 à partir des puits de Tihange 3.

5.1.6.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

L'éventualité d'une perte de la source froide principale, combinée avec la perte des alimentations électriques externes et de premier niveau est intégrée dans la conception du site.

Le personnel impliqué dans la gestion de ce type d'accident reçoit les formations adéquates pour le recours au SUR (à Tihange 1) ou au second niveau de protection (à Tihange 2 et 3). Le Plan Interne d'Urgence sera déclenché avec rappel des astreintes comme décrit au chapitre 6.

Aucune action ou équipement n'est nécessaire à court terme en dehors du site. Les aspects organisationnels liés au Plan Interne d'Urgence sont traités au chapitre 6.

5.1.6.3. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

L'éventualité d'une perte de la source froide principale, combinée avec la perte des alimentations électriques externes et de premier niveau, est intégrée dans la conception du site. Il est alors fait appel au Système d'Ultime Repli (procédure dite « hors dimensionnement H3 ») à Tihange 1 et au second niveau de protection à Tihange 2 et 3.

Les actions à mener sont identiques à celles décrites en paragraphe 5.1.2.5 (appoint au DUR et procédure définissant les charges non essentielles en situation de repli afin de limiter la consommation en gazole et huile...). Les procédures d'optimisation de l'utilisation de la nappe phréatique, telles que décrites en 5.1.4.3, sont aussi à prévoir.

5.1.7. Perte de la source froide principale combinée à une perte des alimentations électriques externes, de l'alimentation interne de secours et de toute autre alimentation de secours

La source froide principale de la centrale est une branche artificielle de la Meuse. En cas de perte de l'accès à la Meuse, les unités de Tihange utilisent une source alternative. Ce scénario hautement improbable combine le *station black-out* complet, soit la perte de toutes alimentations électriques externes et internes, avec la perte de la source froide principale. Il ne fait pas partie des bases de conception des unités de Tihange. Les unités disposent toujours de l'eau de nappe et ou l'aspiration profonde, mais ne peuvent plus l'utiliser faute d'alimentation électrique. De ce fait, l'analyse effectuée pour la perte complète des alimentations électriques enveloppe ce cas.

5.1.7.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible

Les paragraphes 5.1.3.1, 5.1.3.2 et 5.1.3.3 décrivent la gestion de cette situation.

5.1.7.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

Le paragraphe 5.1.3.4 décrit les actions prévues pour ce type d'accident.

5.1.7.3. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

Le paragraphe 5.1.3.5 décrit les mesures qui peuvent être envisagées pour la gestion de cet accident.

5.1.8. Perte de la source froide principale et des alimentations électriques externes, combinée à un séisme DBE

Ce chapitre considère l'impact d'un séisme DBE sur les alimentations électriques externes et l'accès à la source froide. Dans ce scénario, ne seront disponibles que les équipements qui ont été dimensionnés pour résister à un séisme DBE. L'analyse reprise ci-dessous montre que le site dispose de moyens de secours et d'une autonomie suffisante pour la gestion de ce type d'accident compatible avec le délai de rétablissement d'une alimentation électrique externe ou de réapprovisionnement de l'extérieur.

5.1.8.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible

Le comportement du barrage d'Ampsin-Neuville (situé en aval du site) en cas de séisme de dimensionnement (DBE) a été analysé au cours d'une réévaluation complémentaire de sûreté. La principale conclusion est que sa fonction de rétention d'eau est préservée. De ce fait, le cas le plus défavorable à prendre en considération est une diminution lente du niveau de la Meuse suite à une éventuelle dégradation des moyens de régulation du barrage d'Ampsin-Neuville. L'étude a en fait été effectuée jusqu'au niveau RLE.

Si le niveau de la Meuse est maintenu, ce qui correspond au cas le plus probable, l'accident correspond à un LOOP tel que décrit au paragraphe 5.1.1. Le cas d'une diminution progressive est examiné ci-dessous.

Tihange 1

Dans le pire des cas, ce scénario correspond – en ce qui concerne la perte de la source froide – à la deuxième situation évoquée au paragraphe 5.1.4.1: la perte graduelle de l'aspiration des pompes CEB (fait partie des bases de conception). La perte concomitante des alimentations électriques externes conduira à utiliser les groupes Diesel de premier niveau (qui sont conçus de manière à résister au séisme).

Le circuit d'eau de nappe vient alimenter, après raccordement, le circuit d'eau brute (CEB) puisant normalement dans la Meuse. Cette alimentation de secours du CEB permet de faire face aux

conséquences de l'événement, et ce quel que soit le régime de fonctionnement de l'unité au moment de sa survenue (GV disponibles, CRP ouvert ou cœur complètement déchargé). En effet, ce circuit peut assurer le refroidissement des groupes Diesel de secours, l'alimentation des GV, le refroidissement du cœur par le RRA et le refroidissement des piscines.

Bien que ce ne soit pas nécessaire dans ce scénario, il est toujours possible d'utiliser le Système d'Ultime Repli (SUR) permettant lui aussi de faire face à ce type d'accident (procédure dite « hors dimensionnement H3 »).

L'autonomie des groupes Diesel de premier niveau est d'au moins 3,5 jours. L'autonomie de l'eau de nappe est d'au moins 30 jours. Dans ce scénario, Tihange 2 et 3 puisent en fond de Meuse et n'ont donc pas besoin de leurs puits CEU. Tihange 1 dispose alors de deux puits, pendant au moins 30 jours. Ces délais permettent de couvrir le temps d'arrivée de matériels d'une autre unité ou de l'extérieur. Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Tihange 2 et 3

Dans le pire des cas, ce scénario correspond – en ce qui concerne la perte de la source froide – à la deuxième situation évoquée au paragraphe 5.1.4.1 : la perte graduelle de l'aspiration des pompes CEB. Ce problème est résolu par le basculement sur l'aspiration en fond de Meuse. La perte concomitante des alimentations électriques externes conduira à utiliser les groupes Diesel de premier niveau.

La prise d'eau en fond de Meuse, qui reste disponible en cas de défaillance du barrage d'Ampsin-Neuville, peut être raccordée au circuit d'eau brute (CEB). Cette alimentation de secours du CEB permet de faire face aux conséquences de l'événement, et ce quel que soit le régime de fonctionnement de l'unité au moment de sa survenue (GV disponibles, CRP ouvert ou cœur complètement déchargé). En effet, ce circuit peut garantir le fonctionnement des systèmes de sauvegarde de premier niveau : refroidissement des groupes Diesel, alimentation des GV, refroidissement du cœur par le RRA et refroidissement des piscines.

Piscines de désactivation

Le refroidissement des piscines CTP et de celles du bâtiment DE (Tihange 3) est alors assuré par le CEB et le CRI, ce qui nécessite la réalimentation des pompes CTP et STP (Tihange 3) par des tableaux secours. Cette réalimentation implique un lignage électrique, ce qui se fait bien avant le délai d'ébullition des piscines, et donc largement avant l'expiration du délai avant endommagement du combustible (plusieurs jours).

L'autonomie des groupes Diesel de premier niveau est d'au moins une semaine, et l'utilisation de la prise profonde en Meuse confère une autonomie illimitée en eau. Ces délais permettent de couvrir le temps d'arrivée de matériels d'une autre unité ou de l'extérieur. Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Plusieurs unités du site affectées

Le fait que plusieurs unités soient affectées n'implique pas de contrainte supplémentaire par rapport à la situation précédente puisque Tihange 2 et 3 n'utilisent pas l'eau de nappe.

5.1.8.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

Comme déjà mentionné, l'éventualité d'une perte de la source froide et des alimentations électriques externes à la suite d'un séisme d'intensité comparable au DBE est intégrée dans la conception du site.

Ce type d'accident est géré par les opérateurs en salle de commande et le personnel d'astreinte. Le Plan Interne d'Urgence, décrit au chapitre 6, sera activé (avec rappel des différentes astreintes). Le site dispose de réserves suffisantes en gazole et huile. De ce fait, il n'est pas nécessaire de prévoir des actions extérieures à court terme.

Les opérations nécessaires à la récupération d'une alimentation électrique externe seront enclenchées, selon les modalités décrites au début du chapitre 5.

Les aspects organisationnels liés au Plan Interne d'Urgence sont traités au chapitre 6.

5.1.8.3. Dispositions pouvant être envisagées pour renforcer la robustesse des installations

L'éventualité d'une perte de la source froide et des alimentations électriques externes à la suite d'un séisme d'intensité comparable au DBE est intégrée dans la conception du site, et suppose l'utilisation des systèmes de sauvegarde de premier voire de deuxième niveau. Il n'est pas nécessaire de prévoir des modifications matérielles.

Les améliorations envisagées au paragraphe 5.1.1.4 sont également applicables dans ce cas.

5.2

Pour le combustible utilisé des piscines du bâtiment combustible

➤ Comme déjà mentionné, les divers circuits et systèmes intervenant au niveau des piscines sont liés au fonctionnement de l'unité, et donc à l'état de cette dernière au moment de la survenue d'un éventuel accident. Dès lors, et pour des raisons de compréhension, les analyses concernant ces piscines de désactivation ont été décrites dans les paragraphes consacrés aux unités.

5.2.1. Perte des alimentations électriques externes

5.2.1.1. Dispositions de conception

Le paragraphe 5.1.1.1. prend également en compte la gestion des piscines.

5.2.1.2. Autonomie

Le paragraphe 5.1.1.2 prend également en compte la gestion des piscines.

5.2.1.3. Dispositions permettant de prolonger la durée d'utilisation des alimentations électriques internes

Le paragraphe 5.1.1.3 prend également en compte la gestion des piscines.

5.2.1.4. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

Le paragraphe 5.1.1.4 prend également en compte la gestion des piscines.

5.2.2. Perte des alimentations électriques externes et des alimentations internes de secours

5.2.2.1. Dispositions de conception

Le paragraphe 5.1.2.1. prend également en compte la gestion des piscines.

5.2.2.2. Capacité et autonomie des batteries

La problématique de disponibilité de l'instrumentation est traitée en paragraphe 6.3.2.1

5.2.2.3. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible

Le paragraphe 5.1.2.3. prend également en compte la gestion des piscines.

5.2.2.4. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

Le paragraphe 5.1.2.4 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.2.5. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

Le paragraphe 5.1.2.5 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.3. Perte des alimentations électriques externes, de l'alimentation électrique interne de secours et de toute autre alimentation de secours

5.2.3.1. Dispositions de conception

Le paragraphe 5.1.3.1 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.3.2. Capacité et autonomie des batteries

La problématique de disponibilité de l'instrumentation est traitée en paragraphe 6.3.2.1

5.2.3.3. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible

Le paragraphe 5.1.3.3 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.3.4. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

Le paragraphe 5.1.3.4 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.3.5. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

Le paragraphe 5.1.3.5 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.4. Perte de la source froide principale (accès à l'eau de la Meuse)

5.2.4.1. Dispositions de conception

Le paragraphe 5.1.4.1 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.4.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

Le paragraphe 5.1.4.2 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.4.3. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

Le paragraphe 5.1.4.3 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.5. Perte de la source froide principale et perte de la source froide ultime alternative

5.2.5.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement combustible

Le paragraphe 5.1.5.1 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.5.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

Le paragraphe 5.1.5.2 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.5.3. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

Le paragraphe 5.1.5.3 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.6. Perte de la source froide principale combinée à la perte totale des alimentations électriques externes et internes du premier niveau

5.2.6.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible

Le paragraphe 5.1.6.1 prend également en compte la gestion des piscines.

5.2.6.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

Le paragraphe 5.1.6.2 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.6.3. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

Le paragraphe 5.1.6.3 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.7. Perte de la source froide principale combinée à une perte des alimentations électriques externes, de l'alimentation interne de secours et de toute autre alimentation de secours

5.2.7.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible

Le paragraphe 5.1.7.1 prend également en compte la gestion des piscines.

5.2.7.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

Le paragraphe 5.1.7.2 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.7.3. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

Le paragraphe 5.1.7.3 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.8. Perte de la source froide et des alimentations électriques externes, combinée à un séisme DBE

5.2.8.1. Autonomie du site avant début éventuel d'endommagement du combustible

Le paragraphe 5.1.8.1 prend également en compte la gestion des piscines.

5.2.8.2. Actions (extérieures) prévues pour éviter l'endommagement du combustible

Le paragraphe 5.1.8.2 prend également en compte la gestion des piscines

5.2.8.3. Dispositions pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

Le paragraphe 5.1.8.3 prend également en compte la gestion des piscines

6

GESTION DES ACCIDENTS GRAVES



6.1 Organisation de l'exploitant pour gérer l'accident et les perturbations possibles

p. 186

6.1.1. Organisation prévue

- 6.1.1.1. Organisation de l'exploitant pour gérer l'accident
- 6.1.1.2. Possibilité d'utiliser les équipements existants
- 6.1.1.3. Dispositions pour utiliser les moyens mobiles (disponibilité de ces moyens, délai nécessaire pour les acheminer sur le site et les mettre en marche)
- 6.1.1.4. Réserves et gestion des approvisionnements (gazole pour les groupes Diesel, eau, etc.)
- 6.1.1.5. Gestion des rejets radioactifs, dispositions pour les limiter
- 6.1.1.6. Systèmes de communication et d'information (internes et externes)

6.1.2. Perturbations possibles vis-à-vis des mesures envisagées et gestion associée pour gérer les accidents

- 6.1.2.1. Destruction importante des infrastructures autour de l'installation, y compris les moyens de communication
- 6.1.2.2. Réduction de l'efficacité du travail due à des débits de dose locaux élevés, à une contamination radioactive et/ou à la destruction de certaines installations sur le site
- 6.1.2.3. Faisabilité et efficacité des mesures de gestion des accidents graves en cas d'agressions externes (séismes, inondations)
- 6.1.2.4. Indisponibilité de l'alimentation électrique
- 6.1.2.5. Défaillance potentielle de l'instrumentation
- 6.1.2.6. Impacts potentiels des installations avoisinantes sur le site

6.2 Pour les réacteurs nucléaires

p. 202

6.2.1. Perte du refroidissement du cœur : mesures actuelles de gestion des accidents

- 6.2.1.1. Actions préventives pour éviter l'endommagement du combustible et empêcher l'endommagement du combustible à haute pression
- 6.2.1.2. Perte de refroidissement du cœur : mesures actuelles de gestion des accidents après endommagement du combustible dans la cuve – Mesures de mitigation
- 6.2.1.3. Cinétique, risques d'effet falaise
- 6.2.1.4. Adéquation des mesures actuelles et dispositions additionnelles possibles

6.2.2. Mesure de gestion des accidents et éléments de conception pour la protection de l'intégrité du confinement après l'endommagement du combustible

- 6.2.2.1. Gestion du « risque hydrogène » (dans et hors enceinte de confinement)
- 6.2.2.2. Prévention des surpressions de l'enceinte de confinement
- 6.2.2.3. Prévention du risque de retour en criticité
- 6.2.2.4. Prévention du percement du radier : maintien du corium en cuve
- 6.2.2.5. Besoins et alimentation en courant électrique continu et alternatif et en air comprimé des équipements utilisés pour la préservation de l'intégrité du confinement

6.2.2.6. Cinétique et risques d'effet falaise

6.2.2.7. Adéquation des mesures de gestion actuelles et dispositions additionnelles possibles

6.2.3. Mesures actuelles de gestion des accidents pour minimiser les conséquences d'une perte d'intégrité du confinement

6.2.3.1. Adéquation des mesures de gestion actuelles et dispositions additionnelles possibles

6.2.4. Mesures actuelles de gestion des accidents pour revenir à un état stable et contrôlé

6.3 Pour l'entreposage du combustible usé

p. 228

6.3.1. Mesures de gestion des conséquences d'une perte de la fonction de refroidissement de l'eau des piscines

6.3.1.1. Mesures actuelles de gestion de l'accident

6.3.1.2. Cinétique et risques d'effet falaise

6.3.1.3. Adéquation des mesures actuelles de gestion et dispositions additionnelles possibles

6.3.2. Points particuliers

6.3.2.1. Adéquation et disponibilité de l'instrumentation

6.3.2.2. Accumulation potentielle d'hydrogène

6.3.2.3. Retour à un état stable et contrôlé

6

Introduction

En toutes circonstances, qu'il s'agisse du fonctionnement normal, de la survenue d'incidents ou d'accidents, les actions des opérateurs sont décrites dans des procédures régulièrement révisées à la lumière du retour d'expérience, aussi bien national qu'international. Dès le passage en situation de crise, un Plan Interne d'Urgence (PIU) est déclenché, et les équipes d'astreinte rappelées. Le PIU de la centrale de Tihange prévoit aussi, si nécessaire, la possibilité de faire appel à du personnel, des compétences ou des moyens extérieurs. Lorsqu'un accident est considéré comme grave, en particulier lorsqu'il découle d'une agression excédant le dimensionnement des installations, la stratégie à adopter est décrite dans des documents dits SAMG, ou « Severe Accident Management Guidelines ».

L'organisation générale et les stratégies adoptées lors de scénarii de ce type sont exposées dans les pages qui suivent

6.1

Organisation de l'exploitant pour gérer l'accident et les perturbations possibles



Les opérateurs de la centrale de Tihange, dûment formés, suivent des procédures régulièrement révisées à la lumière du retour d'expérience, tant national qu'international. En cas d'accident grave (*voir ci-contre*), la stratégie à adopter est décrite dans des documents dits SAMG. Dès le déclenchement du Plan Interne d'Urgence (PIU), une équipe de gestion de crise est mise sur pieds. Elle peut mobiliser toutes les ressources en personnel ou en matériel (moyens classés ou non conventionnels) de la centrale, et éventuellement faire appel à du personnel, des compétences ou des moyens extérieurs. La centrale dispose de plus d'un centre opérationnel de repli sur le site des Awirs à Flémalle. La centrale nucléaire de Tihange est donc à même d'assurer en toutes circonstances ses fonctions essentielles de sûreté. L'organisation de crise est prévue pour faire face à n'importe quelle situation, qu'il s'agisse d'un incident, d'un accident ou d'un accident grave.



L'accident grave est défini comme la dégradation significative et la fusion partielle ou totale du combustible, conséquence d'un manque de refroidissement prolongé. Cet accident de probabilité extrêmement faible ne peut survenir qu'à la suite de l'enchaînement d'un grand nombre de défaillances des systèmes de protection.

6.1.1. Organisation prévue

En cas d'accident nucléaire, la gestion est assurée au départ de trois lieux distincts :

- A. La salle de commande de la tranche dans laquelle œuvrent les opérateurs des équipes de quart en situation normale ou en situation accidentelle.
- B. Le Centre Opérationnel de Tranche ou COT (situé physiquement à côté de la salle de commande et possédant les mêmes caractéristiques de résistance que la salle de commande) dans lequel se réunit une partie de l'équipe de gestion de crise et au départ duquel se réalise la gestion technique de l'événement.

C. Le Centre Opérationnel de Site ou COS (géographiquement distant de la salle de commande) dans lequel se réunit la seconde partie de l'équipe de crise et qui pilote les aspects communication, relations avec l'extérieur.

Note : les paragraphes 6.1.2.2.a et 6.2.1.4.c traitent plus en détail des caractéristiques de ces entités.

6.1.1.1. Organisation de l'exploitant pour gérer l'accident

a) Personnel impliqué et rotation des équipes

Les équipes d'exploitation, dites aussi équipes de quart, présentes en permanence sur le site, comprennent toujours les effectifs minimaux décrits dans le rapport de sûreté (voir le tableau ci-après).

Tableau 1 ↘

Composition minimale des équipes de quart

Unité	État de l'unité	Nombre
Tihange 1	En fonctionnement en puissance, en arrêt à chaud ou en arrêt intermédiaire	7
Tihange 1	En arrêt à froid	6
Tihange 2	En fonctionnement en puissance, en arrêt à chaud ou en arrêt intermédiaire	8
Tihange 2	En arrêt à froid	6
Tihange 3	En fonctionnement en puissance, en arrêt à chaud ou en arrêt intermédiaire	7
Tihange 3	En arrêt à froid	6

Dans la composition de ces équipes de quart, figure systématiquement un agent spécifiquement dédié aux tâches liées à la surveillance de la radioprotection.

Ces équipes sont missionnées pour entreprendre à tout moment – 24 heures sur 24 et sept jours sur sept – les premières actions adaptées à un événement, quel qu'il soit. Elles vont donc assurer, en premier lieu, le suivi de l'événement, à partir notamment de la salle de commande et à l'aide de procédures de gestion des accidents.

Elles peuvent s'appuyer en permanence sur une équipe de cadres et de techniciens d'astreinte, aussi bien lors de l'exploitation normale de la centrale qu'en cas de problème. Ces cadres et techniciens d'astreinte assurent un rôle opérationnel dans l'exploitation de la centrale. En cas d'aléa sur une unité, le Plan Interne d'Urgence (PIU) est déclenché et assure une mobilisation des ressources internes et externes nécessaires à la gestion de l'événement.

La gestion initiale de la crise est assurée au départ de la salle de conduite de la tranche concernée. Dès l'activation du PIU, une équipe de gestion de crise se met en place. Elle comprend une équipe locale, qui se rassemble dans le Centre opérationnel de tranche (COT) situé physiquement à côté de la salle de conduite de l'unité concernée. Le reste de l'équipe de gestion de crise se réunit dans le Centre Opérationnel de Site (COS) situé dans le bâtiment administratif (sauf en situation de repli, se référer au paragraphe 6.1.1.1.b traitant des moyens autres « CARA »). L'équipe réunie au COT traite de l'aspect technique alors que celle réunie au COS se concentre plutôt sur l'organisation et la communication (notamment avec les Autorités) et la prise des décisions stratégiques pour la gestion de la crise.

Le Plan Interne d'Urgence décrit une organisation qui peut se déployer, au fur et à mesure de l'évolution des situations, en incluant les relations avec les autorités (AFCN, BelV, CGCCR, CELEVAL, province, communes, etc.), les soutiens externes (services régionaux d'incendie, Protection Civile, Tractebel Engineering, etc.) et les soutiens internes à Electrabel (assistance de l'autre site nucléaire, des services centraux de Electrabel, etc.). Le PIU fait partie intégrante du rapport de sûreté des unités.

Tableau 2 ↘

Composition du rôle d'astreinte cadres et délais d'intervention garantis

Dénomination	Délais d'intervention (minutes)
Chef d'équipe de crise	15
Adjoint chef d'équipe de crise	15
Support sûreté	15
Maîtrise interne 1 (unité 1)	15
Maîtrise interne 1 (unité 2)	15
Maîtrise interne 1 (unité 3)	15
Maîtrise interne 2 (chimie)	15
Sécurité des personnes + environnement	15
Électricité/Instrumentation (a) + Logistique immédiate	15
Électricité/Instrumentation (b) + Logistique immédiate	15
Mécanique (a) + Moyens opérationnels différés	30
Mécanique (b) + Moyens opérationnels différés	30
Moyens opérationnels différés (Ceval)	30
Facilitateur Ressources Humaines / Communication	60
Support logistique et administratif	15

Parmi les intervenants, on peut distinguer le personnel interne à la centrale et les renforts extérieurs. Les **intervenants internes** regroupent, de proche en proche, l'ensemble du personnel de la centrale nucléaire de Tihange. Il s'agit donc :

- des équipes de quart. Comme mentionné ci-dessus, elles ont pour mission d'assurer en permanence le pilotage des installations, quelles que soient les conditions (normales ou accidentelles) et possèdent les compétences et prérogatives nécessaires ;
- des cadres d'astreinte. Cette astreinte est organisée en cinq équipes, composée chacune de 15 cadres, avec un roulement sur cinq semaines (le tableau 2 mentionne la composition de ce rôle d'astreinte cadres). Si la crise se prolonge, l'organisation d'une relève de l'équipe des cadres d'astreinte est prévue ;
- des techniciens d'astreinte (mécaniciens, électriciens, instrumentistes, agents de radioprotection et informaticiens). Sur appel de l'astreinte cadre, ils doivent être opérationnels sur le site dans un délai d'une demi-heure ;
- des équipes de première intervention (EPI). En cas de sinistre, les équipes de quart constituent l'équipe de première intervention. Elles sont renforcées durant les heures ouvrables par le personnel EPI de jour. Elles peuvent également être renforcées, si nécessaire, par le personnel de quart non indispensable d'une tranche voisine non affectée ;
- Le service de gardiennage et le service médical font également partie de la structure mise en place par le PIU. Le service médical du site (médecins et infirmiers) est présent sur le site durant les heures ouvrables. En dehors des heures ouvrables, un(e) médecin et un(e) infirmier(ère) d'astreinte doivent se rendre sur le site dans un délai maximal de deux heures ;
- de l'ensemble du personnel de la centrale. Chaque membre du personnel peut, selon ses compétences, renforcer l'équipe des intervenants. Dans ce cas, ces personnes seront placées sous la hiérarchie d'un cadre d'astreinte.

Dans le cas particulier d'un événement concernant simultanément plusieurs unités, qui par nature mobilisera en permanence un nombre important de cadres, une solution de gestion du personnel d'encadrement est en cours de préparation.

Les intervenants externes regroupent les renforts envoyés par la centrale nucléaire de Doel et les membres de l'organisation de crise centralisée d'Electrabel. Des personnels externes à la société Electrabel peuvent également être appelés auprès d'organismes ou sociétés avec lesquels la Centrale de Tihange a des conventions d'assistance, des contrats ou des devoirs de collaboration (on peut citer, de manière non exhaustive, les hôpitaux voisins, Tractebel Engineering, les Autorités, etc.) ainsi que parmi le personnel des entreprises tierces travaillant habituellement sur le site de la centrale (contractants).

b) Soutien technique extérieur

Lorsqu'un Plan Interne d'Urgence est déclenché, l'équipe des cadres d'astreinte informe officiellement les Autorités par l'intermédiaire du processus de notification. Cette information est automatiquement orientée vers les permanences suivantes :

- CGCCR (le Centre Gouvernemental de Coordination et de Gestion de Crise);
- Bel V;
- AFCN.

Selon le type d'événement, d'autres Autorités comme le Bourgmestre de la ville de Huy, le Gouverneur de la province de Liège, le Service Régional d'Incendie, le SPF Emploi et Bien Être au Travail, etc. sont également informées.

Organisation de crise BEG d'Electrabel (Belux Generation)

Afin de soutenir une unité centrale en crise, Electrabel a mis en place le Centre de Management de Crise Production Belgique (CMCPB). Basé à Bruxelles, il est dirigé par un membre de la direction d'Electrabel. Outre le président, des cadres des fonctions suivantes sont inclus : « Knowledge officer », communication, ressources humaines, production nucléaire, production conventionnelle, affaires publiques, service juridique.

Le Centre de crise a pour mission de :

- soutenir l'entité en prenant des décisions d'ordre stratégique;
- veiller à la disponibilité de ressources supplémentaires (financières, matérielles et humaines);
- assurer la communication vers l'extérieur et garantir la cohérence avec les actions de communication prises par l'entité;
- mettre à disposition de l'entité en crise des experts spécialisés dans des domaines spécifiques (assurances, juridique, ressources humaines, maintenance, sûreté, etc.).

Ce Centre est informé par le directeur de crise du site durant le processus de notification. Suivant le type d'événement, le Centre de Management de Crise Production Belgique mettra tout en œuvre pour apporter le soutien nécessaire à l'entité. Celle-ci pourra également lui soumettre des questions spécifiques et des demandes précises (recherche de matériel ou d'effectifs qualifiés, par exemple) afin d'alléger la gestion sur le site.

Conventions avec les hôpitaux

La centrale a signé des conventions avec cinq hôpitaux :

- CHRH de Huy;
- CHU du Sart Tilman;
- Institut Jules Bordet à Bruxelles;
- I.M.T.R : Centre des grands brûlés à Loverval;
- Hôpital des Armées françaises de Percy (Paris).

Ces conventions portent sur la prise en charge, au sein de ces institutions, de blessés, contaminés ou non, suite à un incident survenu sur le site de la Centrale de Tihange.

Convention d'assistance technique avec Tractebel Engineering

L'assistance de Tractebel Engineering, consiste à apporter un soutien technique à l'exploitant avec pour objectif de pouvoir fournir :

- une aide au diagnostic;
- des prévisions possibles d'évolution de l'événement;
- des recommandations et/ou propositions d'actions;

– des réponses aux questions de l'exploitant.

Une cellule minimale est mise en place dans les quatre heures suivant l'appel de l'exploitant. Cet appel prévu dans le PIU, est du ressort du chef de l'équipe de crise de la centrale de Tihange.

Assistance technique par Westinghouse Electric Belgium

Westinghouse Electric Belgium met à disposition de Tihange un numéro d'appel permanent (24 heures sur 24, sept jours sur sept) pour toute urgence technique relative à l'exploitation des réacteurs ou à la sûreté. L'organisation en place dispose de différents experts qui se mettront en contact avec Tihange selon la situation.

Soutien des contractants et autres sociétés

De nombreuses entreprises extérieures interviennent quotidiennement sur le site de la centrale. Les personnels concernés disposent de compétences spécifiques et d'une connaissance des installations qui peuvent être utiles en situation d'incident ou d'accident. L'équipe de crise s'appuie donc en priorité sur ces professionnels habitués à intervenir sur le site avant de faire appel à des sociétés qui ne connaissent pas les installations.

De plus, Electrabel a conclu plusieurs contrats avec des sociétés extérieures pour des interventions ou des approvisionnements en équipements et en matériel, incluant des engagements de rapidité en cas de demande à caractère d'urgence de la part du site. On peut ainsi citer :

- livraison et intervention sur le câblage électrique dans les 24 heures ;
- livraison de gazole pour les groupes Diesel dans les 25 heures ;
- pour procéder à la décontamination éventuelle de locaux : 18 personnes dans les deux heures, et 45 personnes dans les 48 heures ;
- échafaudage : 12 personnes (par roulement de 2 heures) dans les 24 heures ;
- réparations et travaux mécaniques : une centaine de mécaniciens et une vingtaine de fraiseurs dans les deux heures ;
- livraisons de grues dans les 4 heures ;
- livraison d'acide borique dans les 15 jours ouvrables ;
- réparation de l'instrumentation dans les 24 heures ;
- livraison de produits chimiques entre 12 et 48 heures (selon le produit) ;
- réparation des moteurs électriques dans les 5 heures ;
- réparation de ventilation dans les 4 heures (1 technicien) ;
- livraison de gaz industriels entre 6 et 12 heures (selon le gaz) ;
- location de groupes électrogènes et de refroidissement : matériels standards dans les 24 heures (moins si disponible en Benelux), matériel de ventilation BR dans les 3 jours ;
- location de matériel de déblaiement à déploiement rapide, stationné à proximité de la centrale afin d'assurer l'accès aux moyens nécessaires en cas de crise.

Dans le cadre des problèmes qui pourraient affecter le réseau électrique, une collaboration effective existe entre Electrabel et Elia (gestionnaire des réseaux à haute et très haute tension)

Support des Institutions et des moyens publics

L'arrêté royal du 17 octobre 2003 stipule que le ministre de l'Intérieur, en collaboration avec l'exploitant, peut mobiliser et engager tous les moyens civils et militaires afin de pouvoir contrôler ou limiter une situation d'urgence et prendre des mesures pour lutter contre les effets de la situation d'urgence dans l'installation. Dans ce cadre, les institutions citées ci-dessous peuvent apporter leur assistance technique au site de Tihange :

- Institut Scientifique de Santé Publique (ISP) ;
- Institut Royal Météorologique (IRM) ;
- Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire (SCK-CEN) ;
- Institut National des Radioéléments (IRE) ;
- Protection Civile ;
- Armée (caserne du Génie Militaire d'Amay située à 8 kilomètres de la Centrale) ;
- Service Hydrologique dépendant de la Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques du Service Public de Wallonie ;
- Observatoire Royal de Belgique (ORB) ;
- Université de Liège (ULg) ;

- Service Régional d’Incendie de la ville de Huy. Ce service, avec lequel Electrabel a signé une convention spécifique, est situé juste en face de la centrale et n’a que la route nationale 90 à traverser pour être physiquement présent sur le site.

Autres moyens

Pour assurer des transports rapides, Transnubel peut mettre en œuvre, dans un délai court, un bus avec chauffeur et un système de transport de matériel ou de personnels

En cas d’indisponibilité de certains des moyens externes listés plus avant, la Centrale possède en propre certaines capacités :

- des véhicules et remorques équipés de matériel de mesures de Radioprotection et de lutte contre l’incendie ;
- un centre de repli extérieur appelé CARA (pour Centre d’Accueil et de Repli à la centrale des Awirs).



Le CARA assure les fonctions suivantes

1) COS de repli hors site. Si la situation exige l’éloignement des personnels du site, le CARA accueille l’équipe d’astreinte afin d’assurer en toute sécurité la continuité de la gestion de la crise ;

2) Lieu de briefing et de rassemblement pour la formation des convois d’équipes d’intervention vers Tihange. Le CARA est considéré comme le point de rassemblement pour les équipes d’intervention, les équipes de quart devant rejoindre la centrale de Tihange. Le personnel, Electrabel ou autre, y est informé des éléments techniques et des mesures de protection à prendre avant de rejoindre Tihange.

3) Lieu de décontamination et de prise en charge des agents Electrabel et externes après leur intervention sur le site. En cas de crise occasionnant une contamination importante du site de Tihange, qui rendrait impossible la décontamination du personnel sur place, il est prévu que celle-ci soit effectuée au CARA. Les équipes d’intervention et de quart venant d’être relevées passent obligatoirement par le CARA pour un débriefing avant de pouvoir rentrer à leur domicile.

4) l’accueil des familles. Dans une situation affectant un ou plusieurs agents et qui nécessite une information exclusivement réservée aux familles de ceux-ci, l’accueil et l’information des familles concernées se feront au CARA.

Il est important de noter que dans le cas du déclenchement d’un PIU à Tihange, l’ensemble du personnel présent sur le site est immédiatement rassemblé dans les différents locaux de regroupement. Dès lors, la stratégie suivie est l’évacuation rapide vers

leur domicile de toutes les personnes non nécessaires à la gestion de la crise.

En cas de rejet radioactif survenant avant l’évacuation totale des personnes non indispensables, le personnel encore présent sur le site (personnel Electrabel et sous-traitants) restera confiné dans les locaux de regroupement puis sera évacué progressivement vers le CARA.

La centrale électrique des Awirs a été choisie pour les raisons exposées ci-dessous ;

- elle se trouve en dehors de la zone de planification d’urgence de 10 km : elle est située à environ 12 km du site de Tihange. Compte tenu de sa localisation géographique et des multiples voies d’accès possibles (milieu urbain dense), l’accès au site des Awirs est garanti dans de bonnes conditions ;
- ce site de production appartient à Electrabel, ce qui présente des avantages indéniables en particulier en termes de gardiennage du site, de stockage et de contrôle régulier du matériel nécessaire à la mise en place du CARA, d’accès aux réseaux informatique et téléphonique d’Electrabel ;
- ce site fonctionne 24 heures sur 24, ce qui permet de s’y rendre et d’y installer le CARA sans restriction. Un ingénieur d’astreinte est aussi disponible à la Centrale des Awirs (retour sur site dans un délai d’une heure) ;
- de par son utilisation passée, la configuration des lieux de la centrale des Awirs comprend une zone complète d’accueil et de décontamination ;
- la centrale des Awirs dispose de groupes Diesel (MOES 220 Volts) assurant l’éclairage des bâtiments en cas de perte totale des alimentations électriques extérieures.

c) Procédures

Procédures liées au Plan Interne d’Urgence

La procédure « Plan Interne d’Urgence » décrit les bases de la structure et de l’organisation du Plan Interne d’Urgence de la Centrale Nucléaire de Tihange. Elle constitue, avec ses 58 procédures satellites, l’ensemble du Plan Interne d’Urgence

Procédures liées à la conduite des centrales

Outre les procédures liées au fonctionnement normal, les services d’exploitation disposent également de procédures pour la gestion des incidents et des accidents. Lorsqu’une anomalie survient dans les installations, l’équipe d’exploitation utilise en première instance une série de procédures dites incidentelles, pour apporter une réponse à l’événement. Si celles-ci ne suffisent pas, les

procédures dites accidentelles sont alors mises en œuvre. Une description plus exhaustive de cette structure se trouve au paragraphe 6.2.1. Enfin, si certains critères sont atteints, ces procédures accidentelles sont remplacées par les guides de gestion des accidents graves, dits SAMG (pour Severe Accident Management Guidelines).

d) Formation

Formations et exercices liés au Plan Interne d'Urgence

Toutes les personnes participant au PIU (cadres du rôle d'astreinte, équipiers de première intervention, autres intervenants comme le service médical) reçoivent une formation initiale et un recyclage périodique en fonction de leur rôle. La procédure organisant les formations définit par métier, ou rôle, les programmes de formation dans le domaine de l'urgence.

Ce programme est établi de manière à respecter les règles en vigueur (règles de sûreté, règlement des assureurs, etc.), et en fonction du rôle attendu en situation d'urgence. Il tient compte des besoins, retours d'expérience, changements de matériels et d'organisation.

La formation s'appuie également sur des exercices périodiques. Le PIU est régulièrement évalué par des exercices globaux et/ou ciblés sur un ou plusieurs rôle(s) ou sur un ou plusieurs thème(s). Ces exercices, réalisés à tous les niveaux organisationnels et plusieurs fois par an, mobilisent, suivant les scénarii, l'ensemble ou une partie des acteurs impliqués dans l'urgence.

Le tableau 3 récapitule les exercices intégrés dans le programme de formation

Formations et exercices liés à la conduite des centrales

Des procédures traitent des formations « métier » des différents départements (Opérations, maintenance). La formation doit permettre l'acquisition et le maintien des compétences indispensables à l'exercice de chaque métier et garantir ainsi la sûreté d'exploitation. Toutes les personnes intervenant dans la conduite des installations (cadres habilités, opérateurs des équipes de quart) reçoivent une formation initiale et un recyclage périodique en fonction de leur rôle. Chaque métier fait l'objet d'exercices organisés durant l'année.

Tableau 3 ↘

Exercices PIU intégrés dans le programme de formation

Exercices	Qui	Fréquence
Exercice 1 ^{er} instant (actions locales immédiates)	EPI-SDC	1 x / mois
Exercice 1 ^{re} heure du PIU (phase mobilisation initiale)	Cadres d'astreinte	2 x / an (9 exercices/an)
Secourisme (défibrillateur, réanimation...)	Tous les EPI + cadres d'astreinte concernés	1 x / an
Exercice avec les autorités fédérales	CGCCR, cadres d'astreinte	1 x / an
Feu (incendie, pompiers)	Tous les EPI + cadres habilités	1 x / an (7 exercices/an) 1 tranche / 3 ans
Training EPI (accident conventionnel, blessé, environnement)	EPI	2 x / an (14 exercices/an)
Exercice avec les autorités judiciaires	Police locale, fédérale	1 x / an
Gardiennage – protection du site	Service de gardiennage	10-20 x / an
Évacuation vers local de regroupement	Toutes les personnes sur le site	1 x / an
Scenari standard	Tous les cadres d'astreinte	1 x / 5 ans
Utilisation Véhicule de Radioprotection (VRP)	RP d'astreinte + cadres d'astreinte concernés	1 x / an
Utilisation programme calcul modèle de dispersion	Cadres d'astreinte concernés	1 x / 3 ans

En particulier, les agents (chefs de quart, chefs de bloc) et cadres habilités sur chaque unité suivent, deux semaines par an pour les agents et une semaine par an pour les cadres habilités, des exercices sur le simulateur du centre de formation du site (CFN). À cette occasion, ils sont soumis à des incidents/accidents virtuels, afin de maîtriser la mise en pratique des procédures associées, comme le sont les pilotes d'avions sur les simulateurs de vol.

Une formation spécifique à l'utilisation des guides SAMG (deux jours) est dispensée aux agents de conduite et cadres habilités ainsi qu'aux cadres d'astreinte concernés. Elle est suivie d'un recyclage une fois tous les trois ans.

6.1.1.2. Possibilité d'utiliser les équipements existants

En cas d'accident grave, tous les moyens existants et déjà en place au niveau des installations sont utilisés, si nécessaire par le biais de lignages particuliers afin de restaurer les fonctions éventuellement déficientes. Les guides SAMG (*voir paragraphe 6.2.1.2.*) précisent l'utilisation des équipements existants.

En particulier, il est fait usage des diverses possibilités d'appoint en eau au circuit primaire, à savoir: les pompes de charge ISHP (Tihange 1), les pompes de charge CCV (Tihange 2 et 3), les pompes CIS HP (Tihange 2 et 3), les pompes CIS BP (Tihange 1, 2 et 3), les pompes CIU (Tihange 2 et 3), les pompes IJU (Tihange 3), les pompes CAE en remplacement des pompes ISBP (Tihange 1, 2 et 3), les pompes CAB (Tihange 1, 2 et 3), la pompe PIS (Tihange 1), les accumulateurs du CIS (Tihange 1, 2 et 3).

De même, les moyens possibles pour assurer le refroidissement du circuit primaire sont utilisés au mieux des possibilités: les générateurs de vapeur avec leurs diverses sources d'alimentation (EAS pour Tihange 1, EAA ou AUG pour Tihange 2 et 3), les pompes CIS HP et BP, les pompes CAE en remplacement des pompes CIS BP, les pompes RRA avec leurs diverses sources d'alimentation (CRI ou CEB pour Tihange 1, CRI ou CRU pour Tihange 2 et 3), les pompes CTP.

Afin d'assurer le refroidissement et la dépressurisation de l'enceinte de confinement, les procédures prévoient d'utiliser les pompes CAE ou les pompes CIS BP en remplacement de celles-ci.

En ce qui concerne les alimentations électriques, il est fait usage si nécessaire du Groupe Diesel de Réserve pour pallier une alimentation électrique 6 kV défaillante. Il en va de même au deuxième niveau de protection, où le DUR et le GUS en 380 V (Tihange 1) ou les 3 GDU en 6,6 kV (Tihange 2 et 3) pourront être sollicités si nécessaire.

En cas de non-fonctionnement ou indisponibilité de tous ces moyens, peuvent également être utilisés des moyens non conventionnels (non inclus dans la conception des unités mais présents sur le site) tels que ceux présentés au paragraphe 6.1.1.3

6.1.1.3. Dispositions pour utiliser les moyens mobiles (disponibilité de ces moyens, délai nécessaire pour les acheminer sur le site et les mettre en marche)

Moyens mobiles existants (CMU)

En cas de sinistre hors conception survenant sur le site, il est possible d'utiliser des moyens mobiles ou fixes non conventionnels, indépendants des équipements et installations mis en place à la conception et suffisants pour assurer les fonctions suivantes:

- appoints en eau dans les piscines d'entreposage du combustible usé du bâtiment D des 3 unités et du bâtiment DE de Tihange 3;
- réalimentation et appoints à basse pression aux générateurs de vapeur;
- éclairage de secours indépendant;
- mise en place de groupes Diesel permettant de réalimenter les moyens nécessaires.

Ces moyens mobiles sont pour la plupart déjà positionnés dans les installations et ne nécessitent plus pour leur mise en œuvre que la réalisation de connexions fluides *via* des flexibles stockés à proximité des lieux d'utilisation.

Moyens mobiles (non conventionnels) futurs

Suite aux événements de Fukushima, une analyse systématique a été réalisée afin de déterminer les besoins en moyens supplémentaires. Cette analyse part de l'hypothèse d'une perte complète des sources de courant alternatif – situation qui « enveloppe » les conséquences des agressions externes considérées – et prend en compte les différents états initiaux possibles des unités. En premier lieu, les fonctions essentielles pour assurer le refroidissement du cœur ont été analysées, y compris les besoins des opérateurs pour entreprendre ces actions préventives. En deuxième lieu, les besoins

après l'éventuelle perte du refroidissement ont été traités jusqu'à la perte de la fonction de confinement de l'enceinte. Les moyens qui peuvent être mis en place pour atténuer les conséquences de cette situation extrême ont été identifiés.

Le résultat de cette analyse se présente sous la forme d'une « ligne du temps », propre à chaque unité, qui indique en ordre chronologique à quel moment une fonction essentielle pour la continuité de l'évacuation de la chaleur résiduelle du cœur et des piscines, ou pour garder l'intégrité de l'enceinte ou du circuit primaire, n'est plus garantie sans l'intervention de moyens supplémentaires. Cette ligne du temps permet de définir un palliatif à la fonction considérée, le moment auquel ce palliatif doit être opérationnel et les caractéristiques nécessaires pour restaurer la fonction.

Pour chacun de ces moyens, le délai entre la survenue de l'aléa et sa mise en route, ainsi que la capacité nécessaire, déterminent s'il doit être installé en permanence, prêt à démarrer, si un entreposage sur le site peut suffire, ou même si on peut envisager de garantir cette fonction par une aide extérieure. Dans ce dernier cas, on applique le principe selon lequel la possibilité d'une aide extérieure ne devient crédible qu'après 72 heures (délai considéré comme suffisant pour aménager les accès au site et y amener des équipements lourds si nécessaire). Par ailleurs, les moyens non conventionnels doivent pouvoir fonctionner quel que soit l'état des autres unités du site. Les questions d'alimentation électrique, de volumes d'eau et gazole nécessaires pour garantir cette autonomie et cette indépendance ont été prises en compte dans l'analyse. **Ces moyens seront comparés avec ceux définis dans les *Extensive Damage Mitigation Guidelines* développés par le NEI (*Nuclear Energy Institute*), afin de prendre en compte les situations qui ne seraient pas « enveloppées » par l'hypothèse d'une perte totale des sources de courant alternatif.**

La mise en place de certains des moyens identifiés qui ne sont pas déjà disponibles sur le site est en cours d'étude de réalisation. Pour les autres, une étude de justification et/ou faisabilité est nécessaire. Cette mise en place se fera dans des conditions garantissant une robustesse maximale en cas d'agression extrême, naturelle ou non. **Un lieu de stockage adéquat sera recherché** à cet effet pour les moyens mobiles. Les moyens fixes, installés à l'avance sur leur lieu de fonctionnement, devront également être protégés des agressions. Si le lieu de stockage ou l'installation sur place ne garantissent pas leur protection, ils devront être intrinsèquement résistants aux agressions considérées.

Le résultat de l'exercice réalisé apparaît dans les divers paragraphes de ce rapport.

Après mise en place, ces moyens seront intégrés aux procédures d'accidents et SAMG pour assurer leur utilisation par les équipes d'intervention.

6.1.1.4. Réserves et gestion des approvisionnements (gazole pour les groupes Diesel, eau, etc.)

Les spécifications techniques d'exploitation précisent les provisions minimales obligatoires – gazole, eau borée ou non – pour les équipements de sûreté, au titre des accidents (hors accidents graves). Pour les moyens à mettre en œuvre dans le cadre du PIU, les provisions minimales et obligations de disponibilité sont indiquées et vérifiées par des procédures ad hoc.

Au-delà des spécifications techniques – qui imposent de disposer pour les GDS d'un volume de gazole garantissant une autonomie minimale sans apport externe de trois jours et demi pour Tihange 1 et de sept jours pour Tihange 2 et 3 – le site dispose de capacités de stockage de gazole non négligeables (bâche CVA de 600 m³ à Tihange 3 et de 470 m³ à Tihange 1). En utilisant ces réserves, l'autonomie peut atteindre au minimum 20 jours pour Tihange 1 et 25 jours pour Tihange 2 et 3.

Les magasins du site abritent 21 tonnes d'acide borique en sac, soit de quoi produire 1500 m³ de solution d'appoint à 2500 ppm. Parmi les autres sources disponibles d'eau borée figurent notamment les capacités éventuellement non utilisées dans les réservoirs CAB (de 120 à 160 m³ d'acide borique à 7000 ppm), CUS de Tihange 2 et 3 (650 m³ d'acide borique à 7000 ppm) et CTP (de 1650 à 2400 m³ d'acide borique à 2500 ppm). En cas de nécessité, on pourra y ajouter les réservoirs de stockage des concentrats d'évaporateurs, contenant des solutions à 45000 ppm d'acide borique.

Les stocks disponibles sur le site permettent donc d'assurer la gestion de l'accident durant les 72 heures nécessaires. Après ce délai, les apports externes d'eau borée sont possibles.

Les ressources ultimes en eau, en cas d'épuisement ou d'indisponibilité des eaux du fleuve et de la

nappe alluviale, proviennent de la nappe calcaire dont la réalimentation est indépendante du fleuve. Elle alimente la bache principale PED, d'une capacité de 2000 m³, via des pompes d'un débit total de 105 m³/h.

6.1.1.5. Gestion des rejets radioactifs, dispositions pour les limiter

L'éventuel rejet de produits radioactifs dans l'environnement est limité par

- 1) l'activité spécifique maximale du circuit primaire en fonctionnement normal,
- 2) les débits de fuite admissibles pour le circuit primaire et les tubes des générateurs de vapeur et
- 3) les débits de fuite de l'enceinte. Ces paramètres répondent aux exigences des Spécifications Techniques. Le rôle de l'enceinte de confinement en particulier, est de constituer la barrière ultime contre la propagation de la contamination.

a) Dimensionnement de l'enceinte de confinement du réacteur

Les trois unités sont pourvues par conception d'une double enceinte de confinement (*voir description chapitre 1*). L'enceinte intérieure, construite en béton précontraint afin de résister à la pression, est recouverte sur sa paroi interne d'une couche d'acier au carbone peint, dite liner, assurant l'étanchéité. Les capacités de résistance à la pression de cette première enceinte sont détaillées au paragraphe 6.2.2.6. Le circuit CAE (Circuit Aspersion Enceinte) a pour but de limiter le pic de pression dans l'enceinte en cas d'APRP ou de fuite du circuit secondaire, et par là même de limiter le débit de fuite de cette enceinte vers l'espace annulaire. Une seconde enceinte indépendante, en béton armé, entoure la première et sert d'une part à la protection contre les accidents d'origine externe, et d'autre part permet de collecter et filtrer les éventuelles fuites de l'enceinte interne.

La pression dans l'enceinte est surveillée par 6 instruments qualifiés (et sécurisés) de mesure de la pression absolue. Quatre d'entre eux opèrent dans une gamme correspondant aux pressions normales, les deux autres sont pourvus d'une gamme élargie permettant de suivre l'évolution de la pression jusqu'à 10 bars.

Le taux de fuite de l'enceinte de confinement vers l'espace annulaire (l'espace compris entre les deux enceintes) est mesuré lors de chaque arrêt pour rechargement. Il se trouve bien au-dessous du seuil admis par les spécifications techniques d'exploitation. Le taux de fuite de toutes les pénétrations de l'enceinte est vérifié de la même manière.

Des chaînes de mesure et de détection d'activité réparties dans les différents bâtiments, y compris le bâtiment réacteur, permettent un diagnostic rapide en cas de fuite. Des chaînes surveillent aussi les activités de la cheminée de rejet de la ventilation des bâtiments des auxiliaires nucléaires. Des procédures ont également été créées afin de diagnostiquer les pertes de réfrigérant primaire intersystèmes (**ISLOCA**).

Une éventuelle fuite du bâtiment réacteur aboutirait dans l'espace annulaire. Ce dernier est maintenu en dépression (par rapport à l'atmosphère) par des ventilateurs dont le refoulement est équipé de lignes de filtration (filtres absolus et pièges à charbon actif). Des résistances chauffantes limitent le taux d'humidité des gaz d'extraction afin de garantir l'efficacité des batteries de filtration.

b) Isolement de l'enceinte de confinement

Chaque pénétration traversant l'enceinte est équipée de deux organes d'isolement étanches placés en série. Ils sont manœuvrables depuis la salle de conduite et se ferment automatiquement en cas de détection d'une anomalie nécessitant le confinement de l'enceinte. En cas de défaillance d'un de ces organes, les procédures prévoient des actions « correctrices » afin de régulariser la situation par une action en local. Le taux de fuite de ces pénétrations d'enceinte est vérifié lors de chaque arrêt pour rechargement.

c) Protection de l'enceinte interne contre les surpressions et le risque « hydrogène »

Voir les paragraphes 6.2.2.1 et 6.2.2.2.

d) Réduction de la contamination de l'atmosphère du BR:

Le circuit de filtration interne du BR, équipé de filtres et de pièges à charbon actif, est situé dans l'enceinte intérieure. Son rôle est de capter les produits radioactifs et l'iode relâchés dans cette enceinte.

ISLOCA

L'ISLOCA est défini comme une fuite sur un circuit situé hors de l'enceinte de confinement, mais connecté au circuit primaire.

La possibilité d'ajouter une solution à base de soude caustique au fluide d'aspersion permet de remettre en solution l'iode éventuellement dégagé, puis de le capter dans l'eau du puisard du bâtiment réacteur. En 24 heures de fonctionnement, le système CAE peut traiter (solubiliser l'iode puis le capter) 99 % de la quantité d'activité potentiellement présente dans le circuit primaire et susceptible d'être rejetée dans l'enceinte.

e) Surveillance et collecte des fuites de l'enceinte interne

Le contrôle de l'étanchéité des enceintes est effectué périodiquement par des épreuves en pression. Elles ont lieu à pression réduite après chaque arrêt pour rechargement du combustible et tous les dix ans à la pression de dimensionnement.

f) Autres dispositions :

En cas d'accident de manutention du combustible durant le rechargement/déchargement, la détection d'une activité en bâtiment réacteur ou à la cheminée par les chaînes de radioprotection entraîne le passage en configuration post-accident de la ventilation d'extraction du bâtiment piscine et l'isolement de la ventilation de l'enceinte.

Les installations de la centrale sont dotées de réservoirs de récolte et de stockage des effluents éventuellement produits ainsi que de chaînes de traitement destinées à limiter leur volume et leur activité. Ces capacités permettent de stocker des fuites éventuelles pouvant se produire dans les installations.

g) Programmes de calcul et d'évaluation des rejets

Un programme de calcul et de prévision des conséquences radiologiques, permet de calculer et prévoir la propagation et la dispersion des éventuels rejets radioactifs dans l'environnement. Il facilite la gestion du confinement et/ou de l'évacuation post-accidentelle. Des procédures SAMG décrivent la gestion correcte des éventuels rejets.

6.1.1.6. Systèmes de communication et d'information (internes et externes)

En cas de crise, la communication utilise un ensemble de systèmes et dispositifs différents. Cette multiplicité des systèmes, et leur niveau d'indépendance mutuel, permettent d'assurer les communications minimales nécessaires.

COMMUNICATIONS INTERNES

a) Le réseau téléphonique comprend des liaisons téléphoniques normales, qui passent par le central du site de Tihange (autonomie de 4 heures par batteries), et un réseau d'appel interne par « bip » s'appuyant sur le réseau téléphonique normal. De plus, seize téléphones de secours dits « **généphones** » ne nécessitant pas d'alimentation électrique pour fonctionner, sont installés dans les principaux lieux de regroupement du personnel ainsi qu'au COS et aux COTs. Ils peuvent pallier la défaillance des autres moyens de communication, en particulier du central téléphonique.

b) Une ligne vidéo relie le Centre Opérationnel de Tranche (COT) de chaque unité au Centre Opérationnel du Site (COS). Cette liaison ne passe pas par le central téléphonique.

c) La centrale dispose également d'un réseau de communication par haut-parleurs et d'un réseau de signaux sonores d'urgence, tous deux alimentés par du courant secouru.

COMMUNICATIONS EXTERNES

a) Le réseau téléphonique comprend :

- des liaisons normales : le central téléphonique est relié à l'extérieur du site par deux fois 30 lignes, vers Huy d'une part et Amay d'autre part ;
- deux liaisons privées EBL, qui relient la centrale à chacun des centres EBL de Linkebeek et Schaerbeek, et qui passent par le central téléphonique ;
- des liaisons point à point entre le service régional d'incendie et chacune des trois salles de conduite. Ces liaisons ne passent pas par le central téléphonique ;
- dix-sept lignes Belgacom directes utilisées en temps de crise. Quatorze sont dédiées aux COT/COS et trois aux salles de conduite. Ces liaisons ne passent pas non plus par le central téléphonique ;
- quelques lignes supplémentaires, qui accèdent au réseau Belgacom sans passer par le central

Généphone

Ensemble casque écouteur/microphone à générateur autonome, qui peut se brancher sur les câbles de liaison téléphonique.

téléphonique. Le directeur de la centrale ainsi que les chefs de département disposent chacun d'une de ces lignes, ainsi que les chefs de quart sur chacune des unités.

b) Le réseau vidéo comprend :

- une liaison normale, située au COS et reliée à l'extérieur par le central téléphonique ;
- un canal reliant le COS au Centre Gouvernemental de Coordination et de Gestion de Crise (CGCCR).

c) Les moyens d'appels externes de l'Équipe de crise comprennent :

- un système de rappel automatique (ECOS) pour les cadres d'astreinte ;
- ces équipes de cadres d'astreinte peuvent être rappelées *via* deux moyens redondants et indépendants du central téléphonique : d'une part les *paggers* Astrid (basés sur un système d'envoi de messages par radio *via* réseau gouvernemental), d'autre part des téléphones GSM individuels (réseau Proximus).

d) Le système Regetel de communication prioritaire entre les acteurs extérieurs du plan d'urgence est en cours d'installation à Tihange pour le COS.

e) Par ailleurs, divers téléphones GSM et radios sont encore disponibles sur le site pour communiquer en interne ou vers l'extérieur. Treize téléphones GSM d'un autre opérateur réseau (actuellement Mobistar) sont disponibles au COS (quatre) et aux COT (trois par COT). Sept radios Astrid sont installées au COS (une), dans les véhicules VRP (deux), dans les locaux EPI hors zone (trois) et au CARA (une). Les GSM Astrid sont compatibles avec le réseau de communication du SRI ainsi qu'avec les *paggers* Astrid.

f) Enfin, dans le cas extrême où toutes les Communications mentionnées ci-dessus seraient non opérationnelles, la centrale de Tihange dispose encore de cinq téléphones satellitaires.

(Voir figure 1 le schéma synthétique des réseaux de communication en page suivante)

6.1.2. Perturbations possibles vis-à-vis des mesures envisagées et gestion associée pour gérer les accidents

6.1.2.1. Destruction importante des infrastructures autour de l'installation, y compris les moyens de communication

La gestion interne des dégâts aux installations est assurée par l'organisation en place. Le dégagement des infrastructures internes en cas d'obstacles majeurs (pylônes écroulés, trous dans les routes, etc.) repose sur la disponibilité, à proximité immédiate du site, de moyens adaptés (outils de dégagement, moyens de manutention lourds) utilisables aussi bien par le personnel interne que par du personnel externe à la centrale.

L'infrastructure externe, appartenant au domaine public, ne relève pas de la responsabilité de l'exploitant. Toutefois, le PIU comprend la coordination avec les autorités compétentes (ministères, Gouverneur de la Province, Armée), qui assurent la mise en œuvre des moyens externes nécessaires au rétablissement d'un accès correct au site de la Centrale.

Concernant l'accessibilité au site en cas d'inondation affectant la région, l'implantation géographique de la centrale en bord de la Meuse et la structure de la vallée à cet endroit font que l'accès au site sera toujours possible en utilisant les voies de communication principales (venant de l'autoroute E42 en provenance de la Hesbaye ou des routes nationales en provenance du Condroz) qui toutes se trouvent à des hauteurs bien plus importantes que la hauteur maximale de crue. La centrale est située au niveau 71,50 m alors que les hauteurs environnantes culminent à plus de 200 m. L'implantation de la centrale à proximité immédiate de la ville de Huy fait que le réseau routier est très maillé et permet en tout temps un accès à celle-ci.

6.1.2.2. Réduction de l'efficacité du travail due à des débits de dose locaux élevés, à une contamination radioactive et/ou à la destruction de certaines installations sur le site

a) Situation existante :

Afin d'assurer les opérations nécessaires au rétablissement de la situation en cas d'accident grave, les lieux d'intervention sont les suivants : salle de conduite, salle de conduite second niveau, COT, COS,

Figure 1

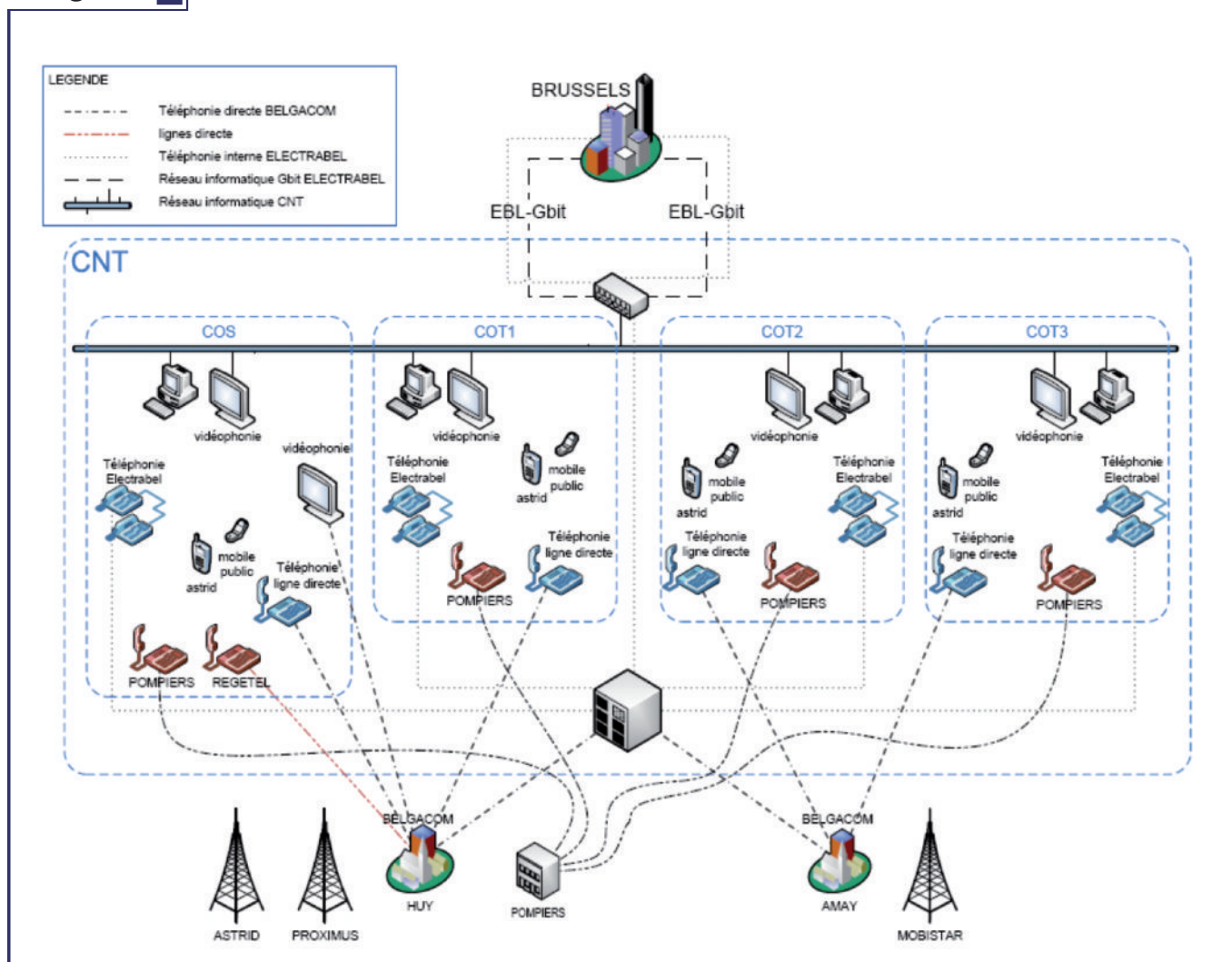


Schéma synthétique des réseaux de communication.

autres localisations (locaux électriques du BAE, locaux d'échantillonnage, par exemple pour ce qui concerne les actions locales).

– **« zone habitable » de chaque unité** (Salles de conduite, COT et locaux annexes)

L'accessibilité et l'habitabilité des salles de conduite et COT sont traitées au paragraphe 6.2.1.4.c. En situation de site contaminé, les procédures existantes prévoient une seule voie d'accès à la « zone habitable » de chaque unité. Cet accès consiste en un sas, équipé d'un vestiaire, de moyens de mesure de contamination, de moyens de décontamination de base et d'une réserve d'équipements de protection. Ces dispositions visent à empêcher l'introduction de contamination dans la « zone habitable » et à permettre au personnel qui la quitte de s'équiper selon les instructions données par les services chargés de la radioprotection.

Pour ce qui a trait aux autres localisations, les interventions éventuellement requises dans les premières heures d'une situation dégradée seront au préalable soumises à une analyse/évaluation en terme de dosimétrie/justification, en tenant compte des circonstances accidentelles.

Les éventuelles opérations de réparation d'équipements et d'échantillonnage ne seront lancées qu'après l'évaluation complète des conditions d'intervention. Cet aspect sera géré par l'équipe de crise, au besoin en s'appuyant sur les moyens et ressources rassemblés au centre de regroupement extérieur (CARA).

– **COS**

Le COS est situé dans le bâtiment administratif du site, hors zone inondable, et sa « zone habitable » est pourvue des dispositifs de filtration de l'air extérieur. En situation de site contaminé, les procédures existantes prévoient une seule voie d'accès à la « zone habitable » du COS. Cet accès est équipé d'un vestiaire, de moyens de mesure de contamination et de moyens de décontamination de base

de manière à empêcher l'introduction de contamination dans la « zone habitable ». Une seule voie de sortie est également prévue avec une réserve d'équipements de protection afin de permettre au personnel qui quitte le COS de s'équiper selon les instructions données par les services chargés de la radioprotection.

– Centre de regroupement extérieur (CARA)

Dès qu'une contamination du site est confirmée par le service de radioprotection, des consignes sont données au service de gardiennage pour interdire l'accès au site. Seules les personnes autorisées par l'équipe de crise pourront y accéder en suivant les instructions données par les services chargés de la radioprotection.

En application du PIU, toutes les personnes dont la présence sur site n'est pas requise par le centre de crise sont évacuées, selon les procédures existantes, vers une « base arrière » appelée CARA. Le centre de regroupement extérieur CARA est décrit au paragraphe 6.1.1.1.b.

b) Analyse de la robustesse de la situation existante vis-à-vis des événements initiateurs et des scénarios retenus:

a) « zone habitable » de chaque unité (Salles de conduite, COT et locaux annexes)

Comme décrit au paragraphe 6.2.1.4.c, la zone habitable de chaque unité est située dans un bâtiment résistant aux conditions externes très dégradées (séisme et inondation notamment), mais les systèmes de ventilation ne sont plus opérationnels en cas de *station black-out*. **Une réalimentation par groupe diesel autonome est à l'étude.**

b) COS

La localisation et la structure actuelle du bâtiment abritant le COS ne garantissent pas une fonctionnalité absolue en cas de conditions externes très dégradées (séisme notamment). Le COT de chaque unité est équipé de manière à pouvoir servir de COS de repli en cas de perte du COS principal. **Le nouveau bâtiment de contrôle des accès, en cours de construction, intégrera un nouveau COS.** Hors inondation, résistant au DBE, pourvu d'une infrastructure de décontamination, secouru par groupe électrogène indépendant et pourvu des dispositifs de filtration de l'air extérieur, ce nouveau COS sera parfaitement apte à remplir les fonctions attendues.

En cas de perte ou d'inaccessibilité du COS sur site, une salle de repli est équipée au centre de regroupement extérieur (CARA).

c) Centre de regroupement extérieur (CARA)

La « base arrière » actuelle CARA se trouve dans des locaux qui n'ont pas été dimensionnés pour tenir en cas de séisme grave, qui sont situés dans une zone inondable en cas de crue décennale et qui, bien que distant d'environ 12 km du site nucléaire, sont situés dans la direction des vents dominants. **Dans le cadre du PIU en mode « High » (voir paragraphe 6.1.2.3) des solutions alternatives pour la « base arrière » seront analysées.**

d) Adéquation de la surveillance radiologique en cas d'accident grave :

Les COT et COS sont équipés d'indicateurs et d'enregistreurs des chaînes de mesures fixes installées aux voies de rejets liquides et gazeux des 3 unités. Un appareillage de base pour la mesure de la radioactivité est également mis à disposition dans ces locaux. Deux camionnettes, dont le garage est proche du COS, sont également équipées pour réaliser des mesures de radioactivité sur le terrain.

En cas de contamination radiologique ou de débit de dose trop élevé au niveau d'une unité, les portiques de contrôle radiologique en sortie de zone nucléaire de cette unité risquent d'être rendus inopérants. Le contrôle pourra être reporté au niveau des portiques installés au bâtiment des accès, à l'entrée du site. Toutefois, aucun portique de contrôle radiologique ne sera opérationnel en cas de perte des alimentations électriques.

Une analyse plus détaillée des moyens supplémentaires requis pour la surveillance radiologique en cas d'accident grave affectant plusieurs unités sera initiée.

e) Possibilité d'intervention en cas de destruction de certaines installations sur le site

Outre le fait que certains bâtiments sont « bunkerisés » et pourraient servir de lieu de rassemblement et de dispatching sur site en cas de destruction de certaines installations, quelques équipements per-

mettant le dégagement des voies de circulation sont disponibles. Toutefois l'intervention d'équipements lourds n'est prévue que *via* des contrats de service avec des entreprises proches de la centrale.

6.1.2.3. Faisabilité et efficacité des mesures de gestion des accidents graves en cas d'agressions externes (séismes, inondations)

Les agressions externes liées aux phénomènes naturels exceptionnels peuvent affecter simultanément toutes les unités d'un même site. En cas d'accident affectant plusieurs unités sur le même site, une organisation de crise adaptée doit être mise en place à court terme. Avant que cette organisation multi-unités ne soit en place, les rôles de garde de base seront répartis selon les centres de coordination nécessaires, et l'équipe de crise sera complétée au fur et à mesure de la disponibilité de personnes.

Dans l'organisation du Plan Interne d'Urgence on peut distinguer trois niveaux de fonctionnement :

- le mode « Standard » : avec une seule unité concernée ;

Dans ce cas, l'organisation actuelle du Plan Interne d'Urgence est appliquée ;

- le mode « Alert » : en cas de menace d'une situation de crise où plusieurs unités pourraient être affectées (inondation de grande ampleur...).

Dans ce cas, la présence des cadres du rôle d'astreinte et de certains supports techniques sera assurée sur site en permanence pendant le mode « Alert » ;

- le mode « High » : en cas d'événement soudain d'ampleur extrême qui affecte plusieurs unités en même temps.

L'organisation du Plan Interne d'Urgence du site en mode « High » sera analysée et définie de manière précise.

Les lignes de forces suivantes seront prises en compte :

Pour les premières 24 heures après la survenance d'un tel événement soudain :

- la première phase de gestion de l'accident sera prise en charge par l'équipe de quart en place ainsi que le personnel d'astreinte. L'équipe de crise sera mise sur pied pour gérer la situation à partir des COTs et du COS en mode « High ». Elle pourra faire appel à d'autres personnes du rôle d'astreinte (non encore appelées dans le cadre du PIU). Celles-ci se mettront à disposition dès que possible ;
- la gestion technique de l'accident est assurée pour chaque unité affectée à partir de son COT. Dans cet esprit, il est prévu de renforcer les rôles d'astreinte de manière à assurer dans chaque COT les mêmes fonctions de crise que si l'accident n'affectait que cette unité ;
- l'organisation de crise au COS se focalise sur la communication, la gestion des préoccupations communes au site et la coordination de la logistique ;
- **la structure du plan d'urgence Corporate sera élargie avec l'ajout d'un nouveau rôle d'astreinte « liaison officer »** qui prendra en charge sur site la communication entre l'équipe de crise et celle du Corporate ;
- l'organisation et les ressources disponibles devront être adaptées à la gestion de ce type d'événement soudain d'ampleur extrême, en ce compris la mise en œuvre des moyens non conventionnels éventuellement requis dans les premières 72 heures.

Au-delà des premières 24 heures après la survenance d'un tel événement soudain :

En mode « High », l'organisation de crise au niveau du site pourra compter sur un support élargi de la structure Corporate (CMCPB) au plus tard 24 heures après le début de son activation. *Via* le CMCPB, une structure d'organisation adaptée sera mise sur pied en fonction de la situation précise sur site et en fonction des événements qui s'y passent. Le rôle d'astreinte « liaison officier » assurera, dans cette optique, la communication entre le site concerné et la structure Corporate.

La structure d'organisation qui sera mise sur pied pour la gestion au-delà des premières 24 heures s'appuiera sur les principes suivants :

- un seul directeur de crise localisé sur site au COS ;
- la gestion technique de chaque unité se fait au départ du COT avec le personnel d'astreinte prévu ;
- les fonctions support sont remplies par la structure Corporate ;
- en cas de besoin de renforts dans les COS et COT, ceux-ci peuvent être fournis *via* la structure Corporate en fonction des besoins (experts...).

Les fonctions support que la structure Corporate peut remplir sont entre autres la logistique, le support radiologique, les aspects humains, la planification à long terme, les aspects communication...

L'analyse de l'organisation précise de la structure Corporate ainsi que des moyens humains et techniques associés est prévue.

Afin de permettre à la structure Corporate de remplir le plus efficacement possible ses tâches dans ces circonstances, les réévaluations suivantes seront lancées :

- **l'adéquation des infrastructures actuelles, notamment la « base arrière » CARA ;**
- **les performances des moyens de communications, particulièrement hors site ;**
- **les modèles de calcul des conséquences radiologiques.**

6.1.2.4. Indisponibilité de l'alimentation électrique

Les bases de conception des unités prennent en compte la perte complète des alimentations électriques externes et internes. Les procédures de gestion des accidents et des accidents graves sont rédigées de façon à intégrer cet aspect dans le pilotage des installations.

6.1.2.5. Défaillance potentielle de l'instrumentation

Les procédures « accidents » et « accidents graves » se basent sur un nombre limité de paramètres suivis par une instrumentation classée et qualifiée. Toute autre instrumentation, mais dont la validité serait avérée, peut venir corroborer les informations de l'instrumentation classée et qualifiée. Durant la mise en œuvre des procédures « accidents » et « accidents graves », une liaison permanente entre l'équipe de quart et l'équipe de gestion de crise est établie. Les paramètres physiques mesurés constituent une part importante de cet échange. Cet échange est matérialisé par le FETT (Formulaire État Technique Tranche) sur lequel apparaissent les chiffres clés nécessaires au pilotage de l'accident. Une évaluation de la validité des paramètres fournis permet de s'assurer de l'absence d'aberration.

Dans l'hypothèse, hautement improbable, où toute l'instrumentation viendrait à être perdue, l'évaluation et le pilotage des actions nécessaires se feraient sur la base d'outils et d'abaques de calcul mis en œuvre par l'équipe de gestion de crise. **Une procédure de réalimentation d'un train de protection vers un autre, en cas de défaillance susceptible d'affecter l'instrumentation, sera rédigée. Elle prendra en compte les divers plans de tension 6 et 6,6 kV, 380 V, 115 VDC, 220 VAC.**

Il faut noter qu'en cas de situation – très dégradée mais très peu probable vu les redondances importantes – de perte de toutes les alimentations électriques internes, des procédures existent sur chaque tranche qui, par le biais d'appareils portables à alimentation autonome, permettent la mesure et l'acquisition des signaux issus de chaque chaîne d'instrumentation. Cela garantit que les mesures nécessaires à la gestion de la crise restent disponibles en toutes circonstances.

Les moyens CMU disponibles sur les unités 2 et 3 comprennent la réalimentation de l'instrumentation par un groupe électrogène autonome.

6.1.2.6. Impacts potentiels des installations avoisinantes sur le site

Les facteurs possibles d'agression externe ont été pris en compte lors de la conception des unités. Étant donné l'implantation géographique de la centrale, aucun aléa supplémentaire n'est à considérer. Un sujet de Révision Périodique de Sûreté a examiné les risques pour une tranche liés à la présence des autres unités du site, ainsi que les dangers relatifs aux substances toxiques, sans mettre en évidence de situation particulière non couverte par les bases de conception.

6.2

Pour les réacteurs nucléaires



En première intention, la gestion d'un accident grave consiste à restaurer le refroidissement du combustible par tous les moyens disponibles, tout en contrôlant le risque lié à l'hydrogène. Si l'ampleur et/ou la combinaison des agressions mènent tout de même à la fusion partielle ou totale du combustible, les actions entreprises visent à maintenir (ou rétablir) l'intégrité des fonctions de sûreté. Les objectifs sont alors d'éviter ou de limiter au strict minimum les rejets éventuels dans l'environnement, de stabiliser l'enceinte et le cœur.

6.2.1. Perte de refroidissement du cœur: mesures actuelles de gestion des accidents

6.2.1.1. Actions préventives pour éviter l'endommagement du combustible et empêcher l'endommagement du combustible à haute pression

a) Tihange 1

Stratégie des procédures de conduite accidentelles avant entrée dans les guides de gestion des accidents graves (SAMG)

La stratégie de réponse à une perte de refroidissement du circuit primaire est basée sur l'approche développée par Framatome (concepteur de la **chaudière nucléaire** de l'unité, voir ci-contre), *via* un jeu de procédures développées durant les années 1980 et réévaluées régulièrement. La mise à jour des procédures d'origine est aujourd'hui assurée par le FROG (FRamatome Owner Group).

En fonction de l'état initial de la tranche au moment où le problème se pose, une réponse adaptée est apportée. Ces états initiaux sont regroupés en deux catégories. La première couvre les états allant de l'unité en production (pleine puissance) jusqu'à l'arrêt intermédiaire (RRA non connecté). La deuxième couvre les autres états: température du CRP inférieure à 177 °C, RRA connecté et circuit primaire fermé et éventé.

Lors de la phase initiale de l'événement, l'évolution des paramètres physiques déclenche des signaux de protection du réacteur (arrêt d'urgence, Injection de Sécurité...) mettant automatiquement en œuvre les équipements de sauvegarde adéquats: pompes d'injection de sécurité haute et basse pression, isolement de l'enceinte de confinement et des circuits auxiliaires, démarrage de l'alimentation de secours en eau des générateurs de vapeur et de la source froide (CEB, CRI), passage en configuration post-accidentelle des ventilations des bâtiments nucléaires, démarrage des groupes Diesel de secours en cas de perte des alimentations électriques externes. Cette vague d'actions automatiques est suivie par une phase de diagnostic, au cours de laquelle l'état de l'unité est examiné. Ce diagnostic conduit au choix de la procédure la plus adaptée à la situation (petite ou grosse brèche du circuit primaire, rupture de tube de générateur de vapeur, brèche du circuit secondaire, cumul éventuel).

Ensuite, l'unité sera conduite en état d'arrêt stable et contrôlé (arrêt complet de l'IS et refroidissement assuré par le RRA ou IS établie en phase de recirculation stable à long terme par passage sur les échangeurs RRA).

Quel que soit le type d'événement rencontré, les fonctions critiques de sûreté (sous criticité du réacteur, état de la source froide, refroidissement du cœur, conditions dans l'enceinte) sont surveillées en perma-

Chaudière nucléaire

La chaudière nucléaire comprend les divers composants constituant le circuit primaire (cuve, GV, pressuriseur, boucles et pompes primaires).

nence selon une procédure indépendante (procédure SPI N1 « Surveillance Pendant Incident ») et ce durant la totalité du transitoire « RRA non connecté ». En outre, la procédure SPI N1 peut prendre en compte un éventuel cumul de défaillances, ce que ne permettent pas les procédures classiques (I, E, H).

Si un des paramètres surveillés présente une déviation anormale, la procédure oriente vers une surveillance particulière de ce paramètre (surveillance contrôle commande, surveillance sous criticité, surveillance des GV ou surveillance de l'IS), afin de le ramener dans un domaine acceptable pour la suite des opérations. Si la situation continue à se dégrader malgré les consignes des procédures classiques (I, E, H) et SPI N1, les opérateurs et l'ingénieur d'astreinte sont invités à utiliser la procédure SPI N2. Celle-ci tentera de rétablir les fonctions de sauvegarde. Si l'état des installations se dégrade fortement et que l'IS est disponible, la procédure demandera de passer en mode « gavé-ouvert ».

Pour les pertes de réfrigérant du circuit primaire survenant lorsque celui-ci est en état d'« inventaire réduit » (contenu en eau minimal), état pour lequel le débit de fuite potentiel est très limité puisque le circuit primaire est à la pression atmosphérique, l'appoint en eau au CRP est assuré par gravité, ou par une pompe ISBP. Le refroidissement du cœur est alors assuré par le RRA si celui-ci peut être maintenu en fonctionnement. En cas de perte du RRA, la chaleur résiduelle est évacuée soit par évaporation de l'eau du circuit primaire par le trou d'homme du pressuriseur, soit par un GV disponible dans le cas où les **tapés** de ce GV ne seraient pas installées. Les spécifications administratives imposent la disponibilité d'au moins un GV pour le passage vers des états CRP à inventaire réduit.

Si toutes les pompes CIS basse pression étaient indisponibles, une alternative possible pour le refroidissement du cœur serait d'utiliser une ou plusieurs pompes CAE (si elles ne sont pas mobilisées à ce moment-là pour refroidir l'enceinte ou l'eau du puisard) qui peuvent intervenir en secours des pompes ISBP *via* une liaison existante. Les moyens d'appoint au circuit primaire sont donc les suivants : pompes ISHP-CCV, pompes ISBP, pompes CAE, **accumulateurs CIS**, pompe CTP P04 Bd.

Stratégie pour dépressuriser le circuit primaire

Une pression trop élevée dans le CRP diminue les possibilités de récupérer un appoint au circuit primaire dans la phase préventive de l'accident et complexifie la gestion d'accident de façon générale. Il est possible de diminuer cette pression en utilisant les moyens suivants, en fonction de leur disponibilité : refroidissement du CRP par les GV, aspersion normale du pressuriseur si les pompes CRP sont opérationnelles, aspersion auxiliaire au moyen des pompes de charge, soupapes SEBIM (celles-ci ne nécessitent pas d'alimentation fluide pour la manœuvre, leur contrôle commande est assuré *via* batteries secourues).

b) Tihange 2 et Tihange 3

Stratégie des procédures de conduite accidentelles avant entrée dans les guides SAMG

La stratégie de réponse à une perte de refroidissement du circuit primaire est basée sur l'approche développée par Westinghouse (concepteur de la chaudière nucléaire pour Tihange 3) *via* le jeu de procédures ERG (Emergency Response Guidelines) développées durant les années 1980 et réévaluées régulièrement. La mise à jour des procédures d'origine est aujourd'hui assurée par le WOG (Westinghouse Owner Group).

En fonction de l'état initial de la tranche au moment où l'événement survient, une réponse adaptée est apportée. Ces états initiaux sont regroupés en trois catégories. La première couvre les états de production (pleine puissance), d'arrêt à chaud, de transition vers et depuis celui-ci. La deuxième comprend les états où le CRP est aux conditions d'arrêt intermédiaire (pression inférieure à 70 bars dans le CRP et accumulateurs du circuit d'injection de sécurité isolés, ou circuit RRA connecté). La troisième comprend les états où le CRP est en « inventaire réduit » (niveau d'eau à mi-boucle ou sous le plan du joint de cuve).

Lors de la phase initiale de l'événement, l'évolution des paramètres physiques déclenche des signaux de protection du réacteur (arrêt d'urgence, Injection de Sécurité...) mettant automatiquement en œuvre les équipements de sauvegarde adéquats : pompes d'injection de sécurité haute et basse pression, isolement de l'enceinte de confinement et des circuits auxiliaires, démarrage de la source froide

Tapés

Les tapés sont des dispositifs provisoires d'obturation des branches chaudes et froides de la cuve du réacteur, mis en place dans les GV pour y réaliser des opérations de maintenance.

Accumulateurs CIS

Les accumulateurs CIS sont des réservoirs contenant de l'eau borée, connectés au CRP, maintenus en pression (45 bars) par un matelas d'azote et permettant d'assurer un appoint passif en cas de brèche primaire.

et de l'alimentation de secours en eau des générateurs de vapeur, passage en configuration post-accidentelle des ventilations des bâtiments nucléaires, démarrage des groupes Diesel de secours en cas de perte des alimentations électriques externes. Cette vague d'actions automatiques est suivie par une phase de diagnostic, au cours de laquelle l'état de l'unité est examiné. Ce diagnostic conduit au choix de la procédure la plus adaptée au problème (petite ou grosse brèche du circuit primaire, rupture de tube de générateur de vapeur, brèche du circuit secondaire, cumul éventuel). Ensuite, l'unité sera conduite en état d'arrêt stable et contrôlé (arrêt complet de l'IS et refroidissement assuré par le RRA ou IS établie en phase de recirculation stable à long terme par passage sur les échangeurs RRA).

Quel que soit le type d'événement rencontré, les fonctions critiques de sûreté (sous criticité du réacteur, état de la source froide, refroidissement du cœur, inventaire en eau du primaire, conditions dans l'enceinte et l'espace annulaire, risque de choc thermique sous pression) sont surveillées en permanence selon une procédure indépendante. Si un des paramètres surveillés présente une déviation anormale, une procédure spécifique de rétablissement de ce paramètre sera lancée afin de le ramener dans un domaine acceptable pour la suite des opérations. Le refroidissement du cœur, en particulier, est pris en compte par les procédures de la série FR-C (Function Restoration core Cooling). Les moyens mis en œuvre en cas de dysfonctionnement de ce refroidissement cœur sont notamment :

- la dépressurisation du CRP pour solliciter les accumulateurs du circuit CIS (restauration d'un inventaire CRP par injection d'eau et minimisation du débit de fuite) ;
- l'utilisation des sources d'appoint alternatives au CRP (pompes CIU, pompes CCV) ;
- le refroidissement du CRP par le fonctionnement en brassage forcé des pompes CRP.

Pour les pertes de réfrigérant primaire survenant lorsque l'unité n'est ni en puissance ni en arrêt à chaud, donc en configuration « RRA connecté » ou à pression dans le CRP inférieure à 70 bars, la démarche suivie va être d'assurer un débit d'injection vers le CRP à partir de diverses sources disponibles (pompes de charge CCV, pompes ISHP, pompes IS BP, pompes CIU).

Si la perte de réfrigérant du circuit primaire survient lorsque celui-ci est en état d'« inventaire réduit » (contenu en eau minimal), état pour lequel le débit de fuite est très limité puisque le circuit primaire est à la pression atmosphérique, l'appoint en eau au CRP est assuré par des pompes restées disponibles (deux pompes ISBP maintenues disponibles). Le refroidissement du cœur est alors assuré par le RRA si celui-ci peut être remis en service ou maintenu en fonctionnement, ou par le CIS en mode « gavé-ouvert » ou par les GV encore disponibles. Les spécifications administratives imposent la disponibilité d'au moins un GV pour le passage vers des états CRP à inventaire réduit.

Si toutes les pompes CIS basse pression étaient indisponibles, une alternative possible pour le refroidissement du cœur serait d'utiliser une ou plusieurs pompes CAE (si elles ne sont pas mobilisées à ce moment-là pour refroidir l'enceinte ou l'eau du puisard) qui peuvent intervenir en secours des pompes ISBP *via* une liaison existante. Les moyens d'appoint au circuit primaire sont donc les suivants : pompes ISHP, pompes CCV, pompes ISBP, pompes CIU, pompes CAE, accumulateurs CIS.

Il est également possible d'utiliser les équipements du second niveau de protection pour faire face à une perte de refroidissement du circuit primaire. Ces équipements peuvent alimenter les générateurs de vapeur, par le biais des circuits AUG et CEU (alimentation ultime des GV), et réalimenter la source froide du RRA, par le biais des circuits CRU (circuit refroidissement ultime) et CEU. L'alimentation électrique des pompes RRA peut également être assurée par le second niveau de protection.

Stratégie pour dépressuriser le circuit primaire

Une pression trop élevée dans le CRP diminue les possibilités de récupérer un appoint au circuit primaire dans la phase préventive de l'accident et complexifie la gestion d'accident de façon générale. Il est possible de diminuer cette pression en utilisant les moyens suivants, en fonction de leur disponibilité : refroidissement du CRP par les GV, aspersion normale du pressuriseur si les pompes CRP sont opérationnelles, aspersion auxiliaire au moyen des pompes de charge, vannes de décharge du pressuriseur (pourvues d'une double alimentation en air *via* le CAR premier niveau ou le CAR second niveau), aspersion de second niveau par les pompes CIU.

6.2.1.2. Perte de refroidissement du cœur : mesures actuelles de gestion des accidents après endommagement du combustible dans la cuve – Mesures de mitigation

Entrée dans les guides de gestion des accidents graves SAMG

Si les procédures orientées vers la prévention de l'endommagement du cœur décrites précédemment ne permettent toujours pas de faire face à l'événement, et dès que la température à la sortie du cœur est indicative d'un endommagement du cœur, la transition vers les guides de gestion des accidents graves est initiée.

Les SAMG reposent sur une approche par symptômes de l'état de la centrale (*Symptom Based*) et sont donc valables pour tout scénario ayant conduit à un des critères d'entrée dans les guides de gestion des accidents graves (à savoir, la température sortie cœur ou à défaut, l'activité dans l'enceinte).

L'ensemble des stratégies développées dans les guides SAMG poursuit les objectifs suivants (par ordre de priorité) :

- arrêter les relâchements de produits de fission dans l'environnement ;
- maintenir ou ramener l'enceinte dans un état stable et contrôlé ;
- ramener le cœur dans un état stable et contrôlé.

a) Tihange 1

En cas de perte de refroidissement du cœur avec dégradation de celui-ci, les stratégies développées dans les guides de Tihange 1 pour restaurer le refroidissement **avant rupture de cuve**, et atteindre un état stable et contrôlé du cœur, sont énumérées ci-dessous.

a) Injection d'eau dans les générateurs de vapeur pour évacuer la puissance résiduelle.

Cette stratégie s'applique lorsque le niveau d'eau dans les générateurs de vapeur est insuffisant. Les moyens identifiés sont les pompes d'eau alimentaire de secours, les pompes d'eau alimentaire normale à haute pression, les pompes du circuit d'eau d'extraction et les pompes d'eau brute.

b) Dépressurisation du circuit primaire pour maximiser le nombre de systèmes capables d'y injecter de l'eau.

Cette stratégie s'applique lorsque la pression est trop élevée dans le circuit primaire.

Les moyens identifiés sont le contournement vers le condenseur, le contournement vers l'atmosphère, l'aspersion auxiliaire du pressuriseur, les tandems SEBIM du pressuriseur et le soutirage excédentaire du circuit de contrôle volumétrique et chimique.

c) Injection d'eau dans le circuit primaire.

Cette stratégie, appliquée lorsque la température sortie cœur est indicative d'un cœur dénoyé, est utilisée pour :

- évacuer l'énergie accumulée dans le cœur lorsque ce dernier est découvert et ;
- assurer un moyen de refroidissement du cœur, soit en injectant suffisamment d'eau dans le circuit primaire (si ce dernier est intact) afin d'évacuer la puissance résiduelle au moyen des générateurs de vapeur, soit en injectant de l'eau dans le circuit primaire et en déchargeant la vapeur à travers une ouverture pour éviter ou retarder la rupture de la cuve du réacteur.

Les moyens identifiés sont les pompes du circuit d'injection de sécurité haute et basse pression, les pompes de secours du circuit d'aspersion d'enceinte, les pompes d'acide borique et d'eau dégazée du circuit de contrôle volumétrique et chimique, les pompes primaires et les moyens spécifiques en état d'arrêt.

d) Injection d'eau dans l'enceinte pour garantir un NPSH suffisant pour le passage en recirculation.

Cette stratégie s'applique lorsque le niveau d'eau dans les puisards de l'enceinte est insuffisant. Les moyens identifiés sont les pompes d'aspersion directe et de secours du circuit d'aspersion d'enceinte et les pompes du circuit d'injection de sécurité basse pression.

L'application de ces stratégies implique également une surveillance à long terme des risques qui peuvent découler de leur mise en œuvre.

En cas de perte de refroidissement du cœur avec dégradation de celui-ci, les stratégies développées dans les guides de Tihange 1 pour restaurer le refroidissement du cœur **après la rupture de cuve** et atteindre un état stable et contrôlé de celui-ci sont énumérées ci-dessous.

a) Injection d'eau dans l'enceinte pour garantir un NPSH suffisant pour le passage en recirculation. Cette stratégie s'applique lorsque le niveau d'eau dans les puisards de l'enceinte est insuffisant. Les moyens identifiés sont les pompes d'aspersion directe et de secours du circuit d'aspersion d'enceinte et les pompes du circuit d'injection de sécurité basse pression.

b) Injection d'eau dans le puits de cuve

Cette stratégie, appliquée lorsque la température sortie cœur est indicative d'un cœur toujours en cours de dégradation, est utilisée pour :

- refroidir les débris du cœur présents dans le puits de cuve et
- refroidir les débris du cœur restés dans la cuve.

Les moyens identifiés sont les pompes du circuit d'injection de sécurité haute et basse pression, les pompes de secours du circuit d'aspersion d'enceinte et les pompes d'acide borique et d'eau dégazée du circuit de contrôle volumétrique et chimique.

L'application de ces stratégies implique également une surveillance à long terme des risques qui peuvent découler de leur mise en œuvre.

b) Tihange 2 et Tihange 3

En cas de perte de refroidissement du cœur avec dégradation de celui-ci, les stratégies développées dans les guides de Tihange 2 et 3 pour restaurer le refroidissement **avant rupture de cuve**, et atteindre un état stable et contrôlé du cœur, sont énumérées ci-dessous.

a) Injection d'eau dans les générateurs de vapeur pour évacuer la puissance résiduelle.

Cette stratégie s'applique lorsque le niveau d'eau dans les générateurs de vapeur est insuffisant.

Les moyens identifiés sont les pompes d'eau alimentaire auxiliaire, les pompes d'eau alimentaire d'ultime secours, les pompes d'eau alimentaire normale à haute pression, les pompes du circuit d'eau d'extraction et les pompes du circuit d'eau brute.

b) Dépressurisation du circuit primaire pour maximiser le nombre de systèmes capables d'y injecter de l'eau.

Cette stratégie s'applique lorsque la pression est trop élevée dans le circuit primaire.

Les moyens identifiés sont le contournement vers le condenseur, les vannes de décharge à l'atmosphère des générateurs de vapeur, les vannes de décharge du pressuriseur, la vanne d'aspersion auxiliaire du pressuriseur, les vannes d'aspersion d'ultime secours et le soutirage excédentaire du circuit de contrôle volumétrique et chimique.

c) Injection d'eau dans le circuit primaire.

Cette stratégie, appliquée lorsque la température sortie cœur est indicative d'un cœur dénoyé, est utilisée pour :

- évacuer l'énergie accumulée dans le cœur lorsque ce dernier est découvert et
- assurer un moyen de refroidissement du cœur, soit en injectant suffisamment d'eau dans le circuit primaire (si ce dernier est intact) afin d'évacuer la puissance résiduelle au moyen des générateurs de vapeur, soit en injectant de l'eau dans le circuit primaire et en déchargeant la vapeur à travers une ouverture pour éviter ou retarder la rupture de la cuve du réacteur.

Les moyens identifiés sont les pompes du circuit d'injection de sécurité haute et basse pression, les pompes du circuit d'injection d'ultime secours, les pompes du circuit d'aspersion d'enceinte, les pompes du circuit de contrôle volumétrique et chimique, les pompes du circuit d'appoint en eau et bore, les pompes primaires et les moyens spécifiques en état d'arrêt.

d) Injection d'eau dans l'enceinte pour garantir un NPSH suffisant pour le passage en recirculation.

Cette stratégie s'applique lorsque le niveau d'eau dans les puisards de l'enceinte est insuffisant.

Les moyens identifiés sont les pompes du circuit d'aspersion d'enceinte.

L'application de ces stratégies implique également une surveillance à long terme des risques qui peuvent découler de leur mise en œuvre.

En cas de perte de refroidissement du cœur avec dégradation de celui-ci, les stratégies développées dans les guides de Tihange 2 et Tihange 3 pour restaurer le refroidissement du cœur **après la rupture de cuve**, et atteindre un état stable et contrôlé de celui-ci, sont énumérées ci-dessous.

a) Injection d'eau dans l'enceinte pour garantir un NPSH suffisant pour le passage en recirculation
Cette stratégie s'applique lorsque le niveau d'eau dans les puisards de l'enceinte est insuffisant.
Les moyens identifiés sont les pompes d'aspersion d'enceinte.

b) Injection d'eau dans le puits de cuve
Cette stratégie, appliquée lorsque la température sortie cœur est indicative d'un cœur toujours en cours de dégradation, est utilisée pour :

- refroidir les débris du cœur présents dans le puits de cuve et
- refroidir les débris du cœur restés dans la cuve.

Les moyens identifiés sont les pompes du circuit d'injection de sécurité haute et basse pression, les pompes du circuit d'aspersion d'enceinte et les pompes d'acide borique et d'eau dégazée du circuit de contrôle volumétrique et chimique.

L'application de ces stratégies implique également une surveillance à long terme des risques qui peuvent découler de leur mise en œuvre.

6.2.1.3. Cinétique, risques d'effet falaise

a) Tihange 1

Pour identifier d'éventuels effets falaise lors de la perte du refroidissement du cœur, deux situations initiales sont envisagées : Dans le premier cas, le circuit primaire (CRP) est fermé, la chaleur résiduelle est alors évacuée par les GV. Dans le second, le CRP est ouvert vers l'enceinte de confinement (états d'arrêt). Les conséquences de la perte des alimentations électriques et/ou des sources froides sont couvertes par l'hypothèse d'un *station black-out* complet (SBO) dans la configuration la plus défavorable de la tranche.

CRP FERMÉ

Ce premier cas est « enveloppé » par l'état de fonctionnement à pleine puissance de la tranche (situation la plus défavorable). Après la perte totale des alimentations électriques, seule la turbopompe du circuit EAS reste disponible à court terme pour faire l'appoint d'eau aux générateurs de vapeur (GV). Cette configuration est caractérisée par des pressions et températures élevées dans les circuits primaire et secondaire, par l'évacuation de la vapeur secondaire *via* les vannes de décharge atmosphériques (VDA) ou les soupapes des GV et par un refroidissement insuffisant au niveau des joints des pompes du circuit primaire pouvant entraîner, à court terme, des fuites primaires limitées.

La principale limitation rencontrée est l'épuisement de l'eau contenue dans la bache EAS. Son volume de 120 m³ n'autorise que 3 heures de refroidissement du CRP par les GV (jusqu'à la vidange complète des GV) si le SBO a lieu de façon soudaine, et que 7 heures si l'accident est de nature progressive et que la perte totale des alimentations électriques a lieu une heure après l'arrêt d'urgence du réacteur. Des moyens non-conventionnels sont disponibles pour réapprovisionner en eau la bache EAS *via* le circuit de protection incendie. Le groupe motopompe Diesel d'incendie et la mise en place de flexibles permettent la réalimentation de cette bache dans un délai très court (30 minutes).

Des études de faisabilité seront lancées pour examiner les possibilités d'augmenter la capacité de la bache EAS.

Une étude de faisabilité (dans le cadre de LTO) pour l'ajout d'une pompe d'eau alimentaire de secours sera réalisée.

Afin d'éviter une dégradation des joints des pompes du circuit primaire, la dépressurisation du CRP est souhaitable dans les heures suivant le début de l'accident. Ceci n'est cependant envisageable qu'après avoir réglé l'appoint en eau à la bache EAS étant donné la consommation d'eau EAS lors du refroidissement. Les procédures actuelles prescrivent bien cette dépressurisation du circuit primaire dans les conditions du SBO complet dans le cas où la turbopompe EAS est disponible. Par

contre, contrairement à d'autres centrales, l'opérateur n'est pas clairement informé du risque lié à l'injection d'azote dans le CRP par les accumulateurs CIS. Les procédures d'accident donnent des instructions empêchant l'injection d'eau par les accumulateurs CIS alors que cela serait opportun dans un scénario du SBO complet. **La rédaction d'une procédure adaptée pour la perte totale des alimentations électriques est à analyser.**

Après l'ouverture manuelle des VDA et la dépressurisation du CRP, l'opérateur doit gérer le risque d'injection d'azote des accumulateurs CIS dans le CRP par des interventions manuelles sur ces vannes (**l'installation de commandes manuelles sur celles-ci permettrait un réglage aisé, l'étude de faisabilité sera initiée**). Afin d'éviter la dégradation du transfert de chaleur du circuit primaire vers le circuit secondaire, il doit maintenir la pression du CRP au-dessus du seuil d'injection d'azote *via* les accumulateurs CIS. Il doit également préserver une pression secondaire compatible avec le bon fonctionnement de la turbopompe.

Lorsque les batteries des tableaux de contrôle commande et d'instrumentation sont épuisées, environ 7 heures après le début de l'accident, la turbopompe s'arrête et l'appoint d'eau aux GV est perdu. Des moyens alternatifs pour récupérer le contrôle commande de celle-ci sont requis pour éviter la perte du refroidissement du cœur. Dans le cas contraire, l'assèchement des GV est attendu après plus de 12 heures après la perte des alimentations.

Notons toutefois que cette perte complète des alimentations électriques est extrêmement peu probable car elle suppose que :

- toutes les alimentations électriques externes sont perdues
- toutes les alimentations électriques internes (les 2 GDS du premier niveau mais aussi le DUR et le GUS) le soient également.

Or le DUR et le GUS ont été spécifiquement étudiés et mis en place pour alimenter le contrôle commande et les auxiliaires de la TPA EAS, la pompe d'injection aux joints ultime, le CAU et les équipements nécessaires pour assurer l'appoint/refroidissement du CRP. Pour rappel, le GUS est un groupe turbo alternateur dont l'alimentation vapeur provient de la même source que la TPA EAS et pour laquelle un seul GV suffit comme source de vapeur.

Dans ce cas peu probable de la perte du refroidissement par les GV, le circuit primaire se met à bouillir et sa pression monte jusqu'au seuil d'ouverture des soupapes SEBIM du pressuriseur. Le circuit primaire perd progressivement son inventaire en eau ce qui mène consécutivement au découvrement puis à la fusion du combustible, la relocalisation du corium vers le bas de la cuve et finalement au percement du bas de la cuve. Sans intervention de l'opérateur, ce processus prend entre 2 et 3 heures.

L'opérateur est instruit par les procédures accidentelles ou les guides SAMG au moment de la perte du refroidissement par les GV de dépressuriser le circuit primaire pour ainsi faciliter l'injection dans le circuit primaire et entamer le « gavé ouvert » primaire. L'ouverture des SEBIM conduit à la dépressurisation du circuit primaire ce qui permet l'injection de l'inventaire des accumulateurs de façon passive. Cette action est capable de retarder la progression de l'accident de quelques heures. Pendant ce temps, il est nécessaire de récupérer des moyens actifs ou de déployer des moyens mobiles permettant l'injection dans le circuit primaire.

Afin d'augmenter encore la fiabilité des soupapes SEBIM, **l'étude de réalisation d'une alimentation électrique alternative de leur contrôle commande sera initiée.**

Le circuit CMU permet également d'assurer une alimentation des GV lorsque ceux-ci sont à basse pression.

CRP OUVERT

Ce cas couvre un nombre important de configurations du CRP qui diffèrent fortement par la quantité de chaleur résiduelle et l'inventaire en eau du CRP (y compris le volume des piscines BR). La situation la plus défavorable est la première étape dite « mi-boucle ou à inventaire réduit » d'un arrêt de tranche. Cette configuration qui se présente cinq jours en moyenne après le début des opérations d'arrêt à Tihange 1 combine un inventaire réduit en eau dans le CRP et une chaleur résiduelle encore assez élevée dans le cœur.

Après la perte totale des alimentations électriques, l'eau du CRP s'échauffe jusqu'à l'ébullition dans un délai inférieur à une demi-heure suivi par le dégagement dans le BR de la vapeur produite. Ce dégagement de vapeur aurait pour effet potentiel de provoquer une montée en pression progressive de l'enceinte et à terme de bloquer l'appoint gravitaire si rien n'était fait pour dépressuriser l'enceinte. À Tihange 1, l'appoint gravitaire à partir de la bêche B01Bi est efficace et peut retarder le découvrement du cœur durant un jour. Si aucune intervention n'est réalisée, la fusion de cœur pourrait avoir lieu après plus d'un jour.

La réalimentation du B01Bi au départ de sources d'eau diverses (drainage partiel des piscines, réservoirs CAB, CEI), permet de prolonger l'autonomie du B01Bi jusqu'à récupération d'une source de refroidissement conventionnelle.

Au moyen du circuit CMU, il est également possible *via* mise en place de liaisons flexibles d'assurer un appoint en eau vers le B01Bi.

La ventilation VBP A65Az2 (secourue aussi bien par les groupes GDS de premier niveau que par le DUR) évite la pressurisation de l'enceinte par évacuation de la vapeur produite. En ultime recours (cas analysé ici), l'ouverture partielle de l'enceinte permet également d'éviter cette pressurisation.

Dans la configuration piscine BR remplie, le temps jusqu'au découvrement des assemblages est estimé à cinq jours dans la configuration la plus défavorable (c'est-à-dire en l'absence de liaison entre la piscine BR et celle du BAN). Ce délai laisse largement la possibilité de mettre en œuvre une stratégie alternative de refroidissement/appoint.

b) Tihange 2

Pour identifier d'éventuels effets falaise lors de la perte du refroidissement du cœur, deux situations initiales sont envisagées. Dans le premier cas, le circuit primaire (CRP) est fermé, la chaleur résiduelle est alors évacuée par les GV. Dans le second, le CRP est ouvert vers l'enceinte de confinement (états d'arrêt). Les conséquences de la perte des alimentations électriques et/ou des sources froides sont couvertes par l'hypothèse d'un *station black-out* complet (SBO) dans la configuration la plus défavorable de la tranche.

CRP FERMÉ

Ce premier cas est « enveloppé » par l'état de fonctionnement à pleine puissance de la tranche (situation la plus défavorable). Après la perte totale des alimentations électriques, seule la turbopompe du circuit EAA reste disponible à court terme pour faire l'appoint d'eau aux générateurs de vapeur (GV). Cette configuration est caractérisée par des pressions et températures élevées dans les circuits primaire et secondaire, par l'évacuation de la vapeur secondaire *via* les vannes de décharge atmosphériques (VDA) ou les soupapes des GV et par un refroidissement insuffisant au niveau des joints des pompes du circuit primaire pouvant entraîner, à court terme, des fuites primaires limitées.

Afin d'éviter une dégradation des joints des pompes du circuit primaire, la dépressurisation du CRP est souhaitable dans les heures suivant le début de l'accident. La procédure actuelle ne prescrit pas strictement cette instruction, mais on peut considérer que les opérateurs ou ingénieurs d'astreinte, conscients des conditions de fonctionnement contraignantes pour les joints, prendraient la décision de dépressuriser le CRP par décharge à l'atmosphère *via* les VDA avant qu'une dégradation importante des joints ne survienne. **Une modification des procédures afin de clarifier la conduite à tenir est en cours de mise en œuvre.**

Après l'ouverture manuelle des VDA et la dépressurisation du CRP, l'opérateur doit gérer le risque d'injection d'azote des accumulateurs CIS dans le CRP par des interventions manuelles sur ces vannes. Afin d'éviter la dégradation du transfert de chaleur du circuit primaire vers le circuit secondaire, il doit maintenir la pression du CRP au-dessus du seuil d'injection d'azote *via* les accumulateurs CIS. Il doit également préserver une pression secondaire compatible avec le bon fonctionnement de la turbopompe.

Lorsque les batteries des tableaux de commande et d'instrumentation sont épuisées, après un temps estimé entre 6 et 12 heures après le début de l'accident, le réglage de la vitesse de la turbopompe et des débits fournis aux GV doit être réalisé de façon manuelle. À ce moment, la lecture

du niveau d'eau des GV est perdue également. L'opérateur doit avoir réglé au préalable un débit d'eau correct vers les GV sinon cela peut à terme mener à l'assèchement ou au contraire à un excès d'eau dans les GV.

Notons toutefois que cette perte complète des alimentations électriques correspond à un cas extrêmement peu probable car elle suppose que :

- toutes les alimentations électriques externes sont perdues ;
- toutes les alimentations électriques internes (3 GDS du premier niveau, 3 GDU du second niveau) le soient également.

L'évacuation de la chaleur résiduelle par les GV, alimentés par la turbopompe EAA, est limitée par le volume disponible dans la bache EAA (680 m³) si un appoint n'est pas réalisé au plus tard environ 17 heures après le début de l'accident.

Dans ce cas peu probable de la perte du refroidissement par les GV, le circuit primaire se met à bouillir et sa pression monte jusqu'au seuil d'ouverture des vannes de décharge ou des soupapes du pressuriseur. Le circuit primaire perd progressivement son inventaire en eau ce qui mène consécutivement au découvrement puis à la fusion du combustible, la relocalisation du corium vers le bas de la cuve et finalement au percement du bas de la cuve. Sans intervention de l'opérateur, ce processus prend entre 2 et 3 heures.

L'opérateur est instruit par les procédures accidentelles ou les guides SAMG au moment de la perte du refroidissement par les GV de dépressuriser le circuit primaire pour ainsi faciliter l'injection dans le circuit primaire et entamer le gavé ouvert primaire. L'ouverture des PORV (et des MORV) conduit à la dépressurisation du circuit primaire ce qui permet l'injection de l'inventaire des accumulateurs de façon passive. Cette action est capable de retarder la progression de l'accident de quelques heures. Pendant ce temps, il est nécessaire de récupérer des moyens actifs ou de déployer des moyens mobiles permettant l'injection dans le circuit primaire. Sans récupération d'un moyen actif, le percement de la cuve est inévitable et marque un moment clé dans le déroulement de l'accident. Afin d'augmenter encore la fiabilité des vannes de décharge du pressuriseur (PORV et MORV), **l'étude de réalisation d'une alimentation électrique alternative sera initiée.**

Le circuit CMU permet également d'assurer une alimentation des GV lorsque ceux-ci sont à basse pression.

CRP OUVERT

Ce cas couvre un nombre important de configurations du CRP qui diffèrent fortement par la quantité de chaleur résiduelle et l'inventaire en eau du CRP (y compris le volume des piscines BR). La situation la plus défavorable est la première étape dite « mi-boucle ou à inventaire réduit » d'un arrêt de tranche. Cette configuration qui se présente en moyenne trois jours après le début des opérations d'arrêt à Tihange 2 combine un inventaire réduit en eau dans le CRP et une chaleur résiduelle encore assez élevée dans le cœur. Après la perte totale des alimentations électriques, l'eau du CRP s'échauffe jusqu'à l'ébullition dans un délai inférieur à une demi-heure suivi par le dégagement dans le BR de la vapeur produite. Ce dégagement de vapeur aurait pour effet potentiel de provoquer une montée en pression progressive de l'enceinte et à terme de bloquer l'appoint gravitaire si rien n'est fait pour dépressuriser l'enceinte. À Tihange 2, l'appoint gravitaire à partir des réservoirs CTP est efficace et peut retarder le découvrement du cœur de huit heures. Sans autre intervention, la fusion de cœur intervient quelques heures après.

La réalimentation des réservoirs CTP au départ de sources d'eau diverses (drainage partiel des piscines, réservoirs CAB, CEI) permet de prolonger l'autonomie de ceux-ci jusqu'à récupération d'une source de refroidissement conventionnelle.

Pour ce qui a trait à la pressurisation progressive de l'enceinte, la création d'un exutoire permet d'éviter celle-ci.

Dans la configuration piscines BR remplies, le temps jusqu'au découvrement des assemblages est estimé à environ trois jours dans la configuration la plus défavorable (c'est-à-dire en l'absence de

liaison entre les piscines BR et celles du BAN). Ce délai laisse largement la possibilité de mettre en œuvre une stratégie alternative de refroidissement /appoint.

c) Tihange 3

Pour identifier d'éventuels effets falaise lors de la perte du refroidissement du cœur, deux situations initiales sont envisagées. Dans le premier cas, le circuit primaire (CRP) est fermé, la chaleur résiduelle est alors évacuée par les GV. Dans le second, le CRP est ouvert vers l'enceinte de confinement (états d'arrêt). Les conséquences de la perte des alimentations électriques et/ou des sources froides sont couvertes par l'hypothèse d'un **station black-out** complet (SBO) dans la configuration la plus défavorable de la tranche.

CRP FERMÉ

Ce premier cas est « enveloppé » par l'état de fonctionnement à pleine puissance de la tranche (situation la plus défavorable). Après la perte totale des alimentations électriques, seule la turbopompe du circuit EAA reste disponible à court terme pour faire l'appoint d'eau aux générateurs de vapeur (GV). Cette configuration est caractérisée par des pressions et températures élevées dans les circuits primaire et secondaire, par l'évacuation de la vapeur secondaire *via* les vannes de décharge atmosphériques (VDA) ou les soupapes des GV et par un refroidissement insuffisant au niveau des joints des pompes du circuit primaire pouvant entraîner, à court terme, des fuites primaires très limitées.

Afin d'éviter une dégradation des joints des pompes du circuit primaire, la dépressurisation du CRP est souhaitable dans les heures suivant le début de l'accident. La procédure actuelle ne prescrit pas strictement cette instruction, mais on peut considérer que les opérateurs ou ingénieurs d'astreinte, conscients des conditions de fonctionnement contraignantes pour les joints, prendraient la décision de dépressuriser le CRP par décharge à l'atmosphère *via* les VDA avant qu'une dégradation importante des joints ne survienne. **Une modification des procédures afin de clarifier la conduite à tenir est en cours de mise en œuvre.**

L'installation d'une pompe de commande manuelle sur les VDA permettrait un réglage plus aisé de leur positionnement, l'étude de faisabilité sera initiée.

Après l'ouverture manuelle des VDA et la dépressurisation du CRP, l'opérateur doit gérer le risque d'injection d'azote des accumulateurs CIS dans le CRP par des interventions manuelles sur ces vannes. Afin d'éviter la dégradation du transfert de chaleur du circuit primaire vers le circuit secondaire, il doit maintenir la pression du CRP au-dessus du seuil d'injection d'azote *via* les accumulateurs CIS. Il doit également préserver une pression secondaire compatible avec le bon fonctionnement de la turbopompe.

Quand les batteries des tableaux de contrôle commande et d'instrumentation sont épuisées, après un temps estimé entre 7 et 14 heures après le début de l'accident, le réglage de la vitesse de la turbopompe et des débits fournis aux GV doit être réalisé de façon manuelle. À ce moment, la lecture du niveau d'eau dans les GV est perdue également. L'opérateur doit avoir réglé au préalable un débit d'eau correct vers les GV sinon cela peut à terme mener à l'assèchement ou au contraire à un excès d'eau dans les GV.

Notons toutefois que cette perte complète des alimentations électriques correspond à un cas extrêmement peu probable car elle suppose que :

- toutes les alimentations électriques externes soient perdues
- toutes les alimentations électriques internes (3 GDS du premier niveau, 3 GDU du second niveau) le soient également.

L'évacuation de la chaleur résiduelle par les GV, alimentés par la turbopompe EAA, est limitée par le volume disponible dans la bache EAA (800 m³) si un appoint n'est pas réalisé au plus tard environ 23 heures après le début de l'accident.

Dans ce cas peu probable de la perte du refroidissement par les GV, le circuit primaire se met à bouillir et sa pression monte jusqu'au seuil d'ouverture des vannes de décharge ou des soupapes du pres-

suriseur. Le circuit primaire perd progressivement son inventaire en eau ce qui mène consécutivement au découverture puis à la fusion du combustible, la relocalisation du corium vers le bas de la cuve et finalement au percement du bas de la cuve. Sans intervention de l'opérateur, ce processus prend entre 2 et 3 heures.

L'opérateur est instruit par les procédures accidentelles ou les guides SAMG au moment de la perte du refroidissement par les GV de dépressuriser le circuit primaire pour ainsi faciliter l'injection dans le circuit primaire et entamer le « gavé ouvert » primaire. L'ouverture des PORV (et des MORV) conduit à la dépressurisation du circuit primaire ce qui permet l'injection de l'inventaire des accumulateurs de façon passive. Cette action est capable de retarder la progression de l'accident de quelques heures. Pendant ce temps, il est nécessaire de récupérer des moyens actifs ou de déployer des moyens mobiles permettant l'injection dans le circuit primaire. Sans récupération d'un moyen actif, le percement de la cuve est inévitable et marque un moment clé dans le déroulement de l'accident.

Afin d'augmenter encore la fiabilité des vannes de décharge du pressuriseur (PORV et MORV), **l'étude de réalisation d'une alimentation électrique alternative sera initiée.**

Le circuit CMU permet également d'assurer une alimentation des GV lorsque ceux-ci sont à basse pression.

CRP OUVERT

Ce cas couvre un nombre important de configurations du CRP qui diffèrent fortement par la quantité de chaleur résiduelle et l'inventaire en eau du CRP (y compris le volume des piscines BR). La situation la plus défavorable est la première étape dite « mi-boucle ou à inventaire réduit » d'un arrêt de tranche. Cette configuration qui se présente trois jours après le début des opérations d'arrêt à Tihange 3 combine un inventaire réduit en eau dans le CRP et une chaleur résiduelle encore assez élevée dans le cœur. Après la perte totale des alimentations électriques, l'eau du CRP s'échauffe jusqu'à l'ébullition dans un délai inférieur à une demi-heure suivi par le dégagement dans le BR de la vapeur produite. Ce dégagement de vapeur aurait pour effet potentiel de provoquer une montée en pression progressive de l'enceinte. À Tihange 3, l'appoint gravitaire au CRP dépressurisé n'est pas possible par les réservoirs CTP parce que ceux-ci se trouvent à un niveau inférieur au niveau des boucles primaires. Cette particularité propre à Tihange 3 fait que ce scénario mène à une dégradation plus rapide du refroidissement du cœur : sans appoint actif au CRP, la fusion du cœur peut avoir lieu 3 heures après le début de l'accident (il s'agit toutefois d'une situation hautement improbable).

Une étude de faisabilité est initiée pour mettre en place un moyen de réalimentation du CRP dans cette configuration.

La réalimentation gravitaire des réservoirs CTP au départ de sources d'eau diverses (drainage partiel des piscines, réservoirs CAB, CEI) permet de prolonger l'autonomie de ceux-ci jusqu'à récupération d'une source de refroidissement conventionnelle.

Pour ce qui a trait à la pressurisation progressive de l'enceinte, la création d'un exutoire permet d'éviter celle-ci.

Dans la configuration piscines BR remplies, le temps jusqu'à découverture des assemblages est estimé à plus de trois jours dans la configuration la plus défavorable (c'est-à-dire en l'absence de liaison entre les piscines BR et celles du BAN). Ce délai laisse largement la possibilité de mettre en œuvre une stratégie alternative de refroidissement/appoint.

6.2.1.4. Adéquation des mesures actuelles et dispositions additionnelles possibles

a) Adéquation des mesures de gestion actuelles, y compris les procédures d'accident grave

Les mesures de mitigation actuellement en place pour faire face à un scénario de perte de refroidissement du cœur et protéger l'intégrité de l'enceinte de confinement sont décrites dans les procédures « accidents » ainsi que dans les guides SAMG. Ces textes couvrent les différents stades de l'accident, et prennent en compte les différents états initiaux possibles de l'unité.

Les procédures EOP de Tihange sont basées sur les procédures standards de Framatome - EDF ou du WOG. Ces documents ont fait l'objet d'un contrôle indépendant par le concepteur avant leur mise en application.

De même, les procédures spécifiques au second niveau de protection pour Tihange 2 et 3 ont fait l'objet d'un examen par Westinghouse, avant mise en application lors du démarrage de Tihange 3 ou lors du changement (approche FRA vers approche WOG) pour Tihange 2 à la fin des années 1980.

À chaque procédure est liée une base (Tihange 2 et 3) ou une règle (Tihange 1) de conduite. Cette base ou règle de conduite fait le lien entre les documents génériques et les procédures propres à la tranche, et détaille les principes de base ayant conduit à la procédure (aspects évolution des paramètres et justification de la philosophie).

Les guides SAMG de Tihange consistent en une adaptation spécifique à chaque unité des guides génériques du Westinghouse Owners Group (WOG), émis en 1994, qui ont été validés lors de leur rédaction.

Les WOG SAMG génériques « révision 0 » ont été mis en place dans de nombreuses centrales. Il en a résulté l'émission de commentaires à l'attention de Westinghouse. Westinghouse a mis à disposition ce retour d'expérience sous la forme d'une « révision 1 » des WOG SAMG génériques. Lors de l'émission de cette « révision 1 », en 2001, l'équipe du WOG a estimé qu'il n'était pas nécessaire de réviser immédiatement ces SAMG mais a recommandé d'évaluer les modifications proposées lors de la prochaine révision prévue des SAMG.

Dans le cadre de la Révision Périodique de Sûreté, les premiers guides SAMG de Tihange et les stratégies qui y sont développées ont été validés à l'aide de différents scénarios d'accidents graves, conçus pour couvrir tous les types d'actions préconisées dans les guides et pour représenter des situations variées d'accident grave, y compris dans les états d'arrêt. Un dossier de validation, comprenant les commentaires de l'Exploitant et des Autorités de Sûreté, a été rédigé en conclusion de ces exercices, qui ont mis en évidence la grande qualité des guides et le caractère clair et exhaustif des solutions à apporter suivant la nature du problème à traiter. Les guides se sont montrés autoportants et ne nécessitent pas d'outil supplémentaire d'aide à la prise de décisions. Certaines corrections et améliorations de détail ont également été proposées.

Dans le cadre de la Révision Périodique de Sûreté, une analyse de l'état de l'art du refroidissement hors cuve et son application aux unités belges a également été réalisée. Il en a été conclu une prise de position claire sur les stratégies de refroidissement hors cuve à adopter pour toutes les unités belges. Ces conclusions ont été prises en compte dans le dossier de validation.

De plus, afin d'identifier d'éventuelles modifications limitées, mais au bénéfice potentiellement important pour la gestion des accidents graves, une phase supplémentaire a été réalisée. Elle a consisté en la collecte et l'analyse de références récentes disponibles dans la littérature internationale. Plusieurs sujets identifiés de la sorte ont fait l'objet d'une analyse et ont conduit à des améliorations légères ne remettant pas en cause la gestion des accidents graves telle qu'implémentée dans les guides SAMG actuels. Des propositions d'améliorations, tant sur des aspects matériels qu'organisationnels, ont été émises. Elles concernent tant les moyens déjà identifiés dans les guides SAMG que d'autres moyens, conventionnels ou non.

En conclusion de ce qui précède, les guides SAMG de Tihange sont en cours de révision suite à leur validation, en y intégrant les modifications de la révision 1 du WOG ainsi que celles liées aux propositions d'améliorations susmentionnées.

La multiplicité des moyens disponibles pour mettre en œuvre les différentes stratégies constitue une force des guides SAMG de Tihange. Afin d'améliorer encore la gestion d'un éventuel accident grave, et pour mieux maîtriser le risque de perte de l'intégrité de l'enceinte par surpression lente, il a été décidé de lancer **une étude de faisabilité pour l'installation d'évent filtré** sur les BR des unités de Tihange.

En complément du travail déjà réalisé dans le cadre de la Révision Périodique de Sûreté, **il a été décidé de poursuivre le suivi de la R&D internationale sur le percement du radier. Cette R&D fait,**

et fera, l'objet d'une veille active. En parallèle, une étude de faisabilité pour l'utilisation d'un moyen additionnel pour injecter de l'eau (en plus de tous les moyens déjà existants) sera lancée. Le retour d'expérience international à la suite de Fukushima, ainsi que toute nouvelle révision des WOG SAMG, seront considérés et appliqués si nécessaire, et ce en suivant les recommandations internationales et du WOG. Quoi qu'il en soit, la mise en place de nouveaux moyens (conventionnels ou non) implique l'intégration de ces nouveaux moyens dans les procédures accidentelles et dans les guides de gestion des accidents graves.

b) Disponibilité et adéquation de l'instrumentation

Les mesures de mitigation actuellement en place pour faire face à un scénario de perte de refroidissement du cœur, pour protéger l'intégrité de l'enceinte de confinement et pour atténuer les conséquences d'une perte de l'intégrité de l'enceinte de confinement sont décrites dans les procédures EOP ainsi que dans les guides SAMG. Ces textes couvrent les différents stades de l'accident, et prennent en compte les différents états initiaux possibles de l'unité. L'adéquation et la disponibilité de l'instrumentation liée à ces procédures et guides est décrite ci-après.

Il convient tout d'abord de noter que la discussion ci-dessous n'est valable que si l'instrumentation est disponible, ce qui ne serait pas le cas en cas de perte des alimentations électriques venant des réseaux 380 et 150 kV et des groupes Diesel de sauvegarde, assortie de la décharge complète des batteries (le tableau 4 expose l'autonomie estimée de ces batteries). Néanmoins, la perte de toute instrumentation n'empêche pas la prise de décisions adéquates suivant la philosophie développée dans les guides SAMG, en traitant les différentes problématiques par ordre de priorité.

Tableau 4 ↘

Autonomie estimée des batteries alimentant l'instrumentation après perte complète des autres sources électriques

CNT1	CNT2	CNT3
min 5 h 00	min 6 h 00	min 6 h 00

Selon les procédures EOP, les chaînes de mesures post-accidentelles (PAMS) sont utilisées pour gérer l'accident. Ces chaînes de mesures ont été qualifiées pour résister aux accidents de conception. Elles fournissent des informations éventuellement corroborées par toutes les autres chaînes dont la validité serait avérée (par exemple, les chaînes de contrôle des régulations). Cela comprend, pour Tihange 2 et 3, l'instrumentation de la salle de conduite BUS si elle est disponible. Pour Tihange 1, il existe également certaines mesures spécifiques au SUR.

Les guides SAMG de Tihange suivent l'approche des WOG SAMG génériques, basée sur les caractéristiques de l'unité et les équipements existants, y compris l'instrumentation.

Les SAMG de Tihange comprennent deux guides de diagnostic qui font intervenir un nombre limité de paramètres clés représentatifs des différentes stratégies et permettant de gérer les accidents graves. Ce sont :

- la température à la sortie du cœur ;
- la pression dans le circuit primaire ;
- le niveau d'eau dans les générateurs de vapeur ;
- la pression dans l'enceinte ;
- le niveau d'eau dans les puisards de l'enceinte ;
- les débits de dose sur le site.

L'adéquation de ces paramètres clés, et par conséquent celle de l'instrumentation redondante associée, a été démontrée lors de la validation des guides WOG SAMG génériques et des guides SAMG de Tihange. Il faut noter qu'aucun suivi de la concentration en hydrogène dans l'enceinte n'est réalisé dans les guides SAMG de Tihange. Cette décision s'appuie sur la présence des recombiners

autocatalytiques passifs pour l'hydrogène, limitant sa concentration volumique moyenne dans l'en-
ceinte à moins de 5 %.

Parmi les documents constituant les guides SAMG de Tihange se trouve un document spécifique
à chaque unité qui traite des caractéristiques de fonctionnement de l'instrumentation utilisée lors
d'un accident grave. Pour chaque instrument lié à un paramètre clé sont indiquées sa gamme de
mesure, les incertitudes de la mesure en conditions dégradées et les conditions d'utilisation de la
mesure lors d'un accident grave. Ces caractéristiques de fonctionnement de l'instrumentation sont
reprises à l'attention de l'équipe de quart, avec l'indication de la localisation de la mesure et le
risque d'inondation.

La stratégie mise en œuvre dans les guides SAMG de Tihange a pour objectif, entre autres, de mini-
miser le risque de dégradation des équipements et de l'instrumentation due aux conditions d'envi-
ronnement grave.

Au niveau international, l'approche des WOG SAMG génériques est considérée comme adéquate en
ce qui concerne les besoins et capacités de l'instrumentation car :

- les analyses réalisées ont montré que l'instrumentation qualifiée de manière conservatrice pour
les accidents de conception peut rester opérationnelle dans des conditions d'accidents graves,
d'autant plus que les besoins de précision sont moindres ;
- l'identification de redondances et de mesures alternatives pour obtenir l'information nécessaire
sur les paramètres clés conforte les capacités de l'instrumentation existante ;
- il a été montré qu'il n'est pas nécessaire d'avoir une image exacte de l'accident et de sa progres-
sion, et qu'un nombre limité de paramètres clés suffit à gérer correctement un accident grave.

Cette adéquation a été établie par un travail réalisé durant les années 1990 au sein du CSNI (*Com-
mittee on the Safety of Nuclear Installations*) à propos de l'utilisation de l'instrumentation pour gérer
les accidents graves. Ce travail cite en exemple l'approche suivie dans les guides SAMG de Tihange.

Au niveau belge, cette approche a été validée durant la Révision Périodique de Sûreté.

**Le retour d'expérience international à la suite de Fukushima au niveau de l'instrumentation, ainsi que
toute révision de l'approche des WOG SAMG à ce sujet, seront considérés et implémentés si néces-
saire**, et ce en suivant les recommandations internationales et du WOG. **Le suivi de la concentration
en hydrogène dans le bâtiment réacteur va être mis en œuvre dans les guides SAMG de Tihange**, pour
s'assurer qu'aucun risque éventuel lié à la présence d'hydrogène dans les bâtiments annexes n'est
présent.

c) Disponibilité et habitabilité de la salle de conduite

Pour les unités 1, 2 et 3, la ventilation et le conditionnement de la salle de conduite principale et du COT
sont assurés par le circuit CSC (deux trains secours). Plus précisément, ce circuit de ventilation/condi-
tionnement concerne les locaux « salle de conduite » et « traitement des informations », ainsi que cer-
tains des locaux du bâtiment des auxiliaires électriques (BAE) de la centrale.

Cette installation a pour but :

- a) de maintenir les conditions d'ambiance dans des limites définies et de garantir le confort des
occupants ainsi que le bon fonctionnement du matériel
- b) d'assurer l'habitabilité des locaux de la salle de conduite et du COT en les isolant en cas d'acci-
dents tels qu'une contamination radiologique du site, un relâchement de fumées ou de gaz
toxiques ou explosifs sur le site.

L'installation est essentiellement constituée de deux groupes de conditionnement de type multizone,
afin de traiter la salle de conduite, le COT et les locaux annexes.

Ces groupes sont redondants : l'un peut être utilisé en secours en cas de défaillance de l'autre. Des
batteries de filtres absolus (FA) et pièges à charbon actif (PCA) sont disposées dans les gaines d'ap-
port d'air extérieur. Des batteries identiques sont également installées pour la filtration interne de la
salle de conduite ainsi que pour le COT.

En cas de contamination radioactive du site, le passage en configuration « isolement de la SDC et du
COT » est déclenché soit par le signal IS (pour Tihange 2 et 3) soit par le signal « radioactivité élevée

plénium aspiration air extérieur » (pour les 3 tranches). Dans ce cas, l'atmosphère de ces locaux passe en mode « recirculation », sans apport d'air extérieur non filtré.

Un appoint temporaire d'air filtré assure la mise en pression et le renouvellement de l'air dans la salle de conduite et le COT.

Le dimensionnement des diverses batteries de filtres permet un fonctionnement ininterrompu de 720 heures dans les conditions de l'accident de référence (APRP avec enceinte étanche). En cas de SBO complet, la ventilation est arrêtée et les équipements prennent leur position de sécurité (isolement de la salle de conduite et du COT). Les opérateurs peuvent gérer la suite des opérations en utilisant les masques à adduction d'air si nécessaire. Des masques avec cartouches filtrantes adaptées (poussières, iode), ainsi que des respirateurs autonomes à bonbonne, sont disponibles dans les unités. Les quantités disponibles sont reprises dans une procédure de gestion et suffisent à couvrir les besoins en cas d'accident avec conséquence radiologique.

En plus de leur salle de conduite normale, les unités 2 et 3 sont équipées d'une salle de conduite dite BUS (Bâtiment Ultime Secours) dont les circuits de ventilation/conditionnement sont constitués de trois trains indépendants.

Les équipements de ventilation du BUS ont pour but, en fonctionnement normal ou en cas d'accident d'origine externe à la Centrale :

- a) de maintenir la température ambiante dans certaines limites garantissant le confort du personnel et le bon fonctionnement du matériel ;
- b) d'évacuer vers l'extérieur les vapeurs et gaz dégagés dans les locaux batteries, locaux de réservoirs de gazole et locaux des groupes Diesel (fonctionnement normal uniquement).

En cas d'accident d'origine externe à la Centrale provoquant un relâchement de produits radioactifs sur le site ou la contamination du site par des gaz, explosifs, fumées ou vapeurs, ce système doit :

- a) assurer l'habitabilité de la salle de conduite et
- b) assurer l'isolement d'une ou plusieurs prises d'air.

En cas d'explosion externe au bâtiment, il protège les équipements de l'onde de choc. En cas d'incendie, il limite la propagation du feu et des fumées.

Pour assurer la protection des intervenants face au risque « iode », des comprimés d'iode sont disponibles à différents endroits du site (locaux de regroupements, centres opérationnels de tranche, locaux des Équipes de Première Intervention, Service Médical).

En cas d'accident grave avec dégradation du cœur combinée à un *station black-out*, la ventilation de la salle de conduite sera perdue. Les conditions d'habitabilité seront suivies par la structure de gestion de crise pour s'assurer du respect strict des limites en matière de dosimétrie et de l'adéquation des moyens mis en œuvre pour limiter les doses intégrées. Une rotation au niveau des intervenants facilitera la limitation des doses individuelles. La remise en service de la ventilation de la salle de conduite constitue une tâche prioritaire pour la limitation des doses encourues.

d) Évaluation de l'accumulation potentielle d'hydrogène dans les bâtiments annexes du BR

La production d'hydrogène dans le BR est principalement due à l'oxydation des gaines de combustible en zirconium, ou aux interactions entre le corium et le béton après une éventuelle rupture de la cuve du réacteur. Cet hydrogène va transiter du circuit primaire vers l'enceinte. La présence de recombineurs autocatalytiques passifs (PAR) dans l'enceinte maintient une concentration volumique moyenne d'hydrogène inférieure à 5 %, afin d'éviter une déflagration pouvant menacer l'intégrité de l'enceinte. De plus, la surface autocatalytique totale a été surdimensionnée avec une marge de sécurité de 20 %. De même, l'utilisation du recombineur thermique disponible sur le site permet de limiter la quantité d'hydrogène présent dans l'enceinte.

L'hydrogène peut être relâché de l'enceinte vers un bâtiment annexe par différents chemins de fuite :

- un contournement de l'enceinte créé lors d'une séquence accidentelle (rupture des tubes de générateur de vapeur, *Interfacing Systems Loss of Coolant Accident (ISLOCA)*) ;
- le taux de fuite normal (design leak) de l'enceinte ;
- la défaillance de l'isolement d'enceinte ;
- une brèche ou une fuite structurelle de l'enceinte due à un phénomène d'accident grave.

L'impact d'une accumulation potentielle d'hydrogène dans les bâtiments annexes à l'enceinte sur l'adéquation des mesures existantes de gestion d'un accident grave est limité grâce à :

- des mesures prises lors de la conception, l'utilisation de procédures accidentelles et des guides de gestion des accidents graves, qui garantissent un impact minimum de ces fuites d'hydrogène sur le déroulement de l'accident grave ;
- la disponibilité des PAR qui limitent la concentration d'hydrogène dans l'enceinte, et donc la quantité d'hydrogène pouvant diffuser vers les bâtiments annexes.

L'accumulation d'hydrogène dans un bâtiment annexe à l'enceinte peut cependant être exclue dans les cas suivants :

- en cas de rupture des tubes de générateur de vapeur, le relâchement d'hydrogène est évité lorsque le générateur de vapeur endommagé a été correctement isolé. Dans le cas contraire, l'hydrogène peut atteindre le circuit secondaire mais est relâché à l'atmosphère, hors des bâtiments, par les vannes de décharge du générateur de vapeur, sans accumulation possible ;
- l'accumulation d'hydrogène dans l'espace annulaire suite à la fuite normale de l'enceinte peut être évitée par l'utilisation du système de ventilation. Si cette ventilation n'est pas disponible, l'accumulation d'hydrogène reste négligeable étant donné le taux de fuite de l'espace annulaire vers les autres locaux de la zone contrôlée. Comme mentionné dans les rapports de sûreté, le débit de fuite maximal en conditions d'accident est de 0,5 % du volume de l'enceinte par jour, ce qui correspond à un débit inférieur à 60 m³/h. Pour une concentration volumique de 5 % d'hydrogène dans l'enceinte, cela équivaut à un débit inférieur à 3 m³/h. Des dizaines de jours seraient nécessaires pour atteindre le seuil d'inflammabilité dans l'espace annulaire avec un tel débit. Le paragraphe 6.2.2.1 traite plus en détail du fonctionnement des PAR's et de leur impact sur la concentration en hydrogène dans le BR.

La résolution de la problématique hydrogène pour les autres types de chemin de fuite repose essentiellement sur la conception des systèmes installés et sur les procédures existantes. C'est par exemple le cas pour l'ISLOCA ou la défaillance de l'isolement d'enceinte. Si, malgré la redondance des composants des systèmes, de tels scénarios devaient se produire, des actions adaptées seraient prises, comme décrites dans les procédures accidentelles et dans les guides de gestion des accidents graves (SAMG).

Les actions préconisées dans les procédures « accident » consistent à identifier l'ISLOCA et l'isoler afin d'éviter des rejets vers le BAN ou l'espace annulaire. Les SAMG insistent sur l'importance des actions d'isolement d'enceinte en les considérant comme prioritaires. Les procédures existantes et les mesures de conception spécifiques, dont fait partie l'installation des PAR qui limitent la quantité d'hydrogène présente dans l'enceinte, forment une base solide pour minimiser le risque d'accumulation d'hydrogène dans un bâtiment annexe à l'enceinte. **Dans le cadre de la Révision Périodique de Sûreté, des mesures ont été prises pour compléter les SAMG. Parmi ces mesures, il a été proposé d'accentuer l'efficacité de mise en œuvre des actions correctives, notamment concernant la détection des produits radioactifs (et par conséquent de l'hydrogène) à travers les chemins de fuite potentiels. La mise en œuvre de ces mesures est en cours.**

La défaillance structurelle de l'enceinte suite à un phénomène accident grave est abordée dans les SAMG. Ces guides préconisent tout d'abord des actions pour éviter les menaces pour l'enceinte. Si ces actions ne sont pas concluantes, le risque d'accumulation d'hydrogène dans les bâtiments annexes à l'enceinte reste faible. En effet, la concentration d'hydrogène dans les bâtiments annexes ne peut pas augmenter au-delà de la concentration d'hydrogène dans l'enceinte, limitée à 5 % par les PAR. De plus, après la rupture de cuve, si le noyage de la cavité est entrepris pour refroidir le corium et éviter les interactions entre le corium et le béton, la production d'hydrogène est stoppée, de sorte que le risque d'accumulation peut être exclu.

6.2.2. Mesure de gestion des accidents et éléments de conception pour la protection de l'intégrité du confinement après l'endommagement du combustible

6.2.2.1. Gestion du « risque hydrogène » (dans et hors enceinte de confinement)

Les bâtiments réacteurs (BR) de Tihange 1, 2 et 3 sont munis de recombineurs autocatalytiques entièrement passifs (PAR) dans les différents compartiments de l'enceinte, de manière à éviter le risque de défaillance d'enceinte suite à une explosion d'hydrogène. En effet, au-dessus d'une concentration volumique d'hydrogène de 2 %, ces recombineurs entrent en fonctionnement. Ils maintiennent une concentration volumique moyenne d'hydrogène de 5 % dans l'enceinte (au pic de concentration en début d'accident à cinétique rapide – cette concentration diminue ensuite). De plus, la surface autocatalytique totale a été surdimensionnée avec une marge de sécurité de 20 %. Il faut noter que les recombineurs sont également efficaces pour recombinaison le monoxyde de carbone.

De plus, la présence sur le site d'un recombineur thermique (Rockwell) permet de gérer la problématique de la production d'hydrogène sur le long terme.

Le risque hydrogène hors enceinte de confinement est traité au paragraphe 6.2.1.4.d.

6.2.2.2. Prévention des surpressions de l'enceinte de confinement

a) Tihange 1

La stratégie globale consiste à éviter une surpression dans l'enceinte. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de dépressuriser le circuit primaire afin, d'une part, d'y faciliter l'injection de sécurité à basse pression et, d'autre part, d'atténuer voire d'éviter les phénomènes d'échauffement direct de l'enceinte suite à la dispersion du corium – et de pressurisation soudaine suite au dégagement de quantités importantes d'eau et de vapeur à haute pression présents dans le circuit primaire. Ces deux phénomènes peuvent entraîner une surpression de l'enceinte.

La stratégie consiste à dépressuriser le circuit primaire en utilisant les moyens ci-dessous :

- le refroidissement et la dépressurisation du circuit secondaire par le contournement au condenseur ou le contournement à l'atmosphère ;
- la dépressurisation directe du circuit primaire par l'aspersion auxiliaire du pressuriseur ou par l'ouverture des tandems SEBIM du pressuriseur ;
- le soutirage du circuit primaire par le circuit de contrôle volumétrique et chimique (CCV).

Lorsque la pression d'enceinte ne correspond plus à un état stable et contrôlé à long terme, la stratégie principale consiste à diminuer la pression d'enceinte. Cet objectif est atteint en refroidissant l'enceinte grâce aux moyens ci-dessous :

- les pompes d'aspersion d'enceinte, en injection directe à partir de la bache B01Bi ou en recirculation à partir des puisards. Six pompes peuvent indépendamment assurer cette fonction ;
- les pompes du circuit d'injection de sécurité basse pression, suite à une connexion entre les lignes d'injection basse pression et les lignes du système d'aspersion d'enceinte. Ce raccordement permet l'injection directe à partir de la bache B01Bi ou la recirculation à partir des puisards. Deux pompes peuvent indépendamment assurer cette fonction.

Suite à une éventuelle rupture de cuve et aux possibles interactions corium/béton qui en résulteraient, des gaz non condensables pourraient être produits et participeraient dès lors à la pressurisation de l'enceinte. Les moyens listés ci-dessus sont inopérants sur les gaz non condensables. Il faut noter toutefois que le monoxyde de carbone est recombinaison par les recombineurs d'hydrogène.

La stratégie mise en place pour prévenir le risque de mise en dépression de l'enceinte est d'arrêter l'aspersion d'enceinte, d'ouvrir les tandems SEBIM du pressuriseur et de relâcher de l'air comprimé dans l'enceinte *via* le circuit d'air comprimé de régulation (CAR), le circuit d'air comprimé de régulation d'ultime repli (CAU) et le circuit d'air comprimé de service (CAS).

Afin de diversifier encore davantage la fonction d'aspersion d'enceinte, une étude de faisabilité pour l'ajout d'une connexion bridée externe afin de pouvoir asperger dans le bâtiment réacteur grâce à une pompe mobile sera initiée.

Une étude de faisabilité sera réalisée concernant l'installation d'évent filtré, destiné à mieux gérer la problématique de surpression d'enceinte. Cet événement filtré constitue la mesure ultime de dépressurisation de l'enceinte. Cette mesure ne serait mise en œuvre que si la situation l'exige pour éviter une altération du confinement. Cet événement filtré a été analysé dans le cadre du projet LTO de l'unité 1 et sera étendu aux autres unités.

b) Tihange 2 et Tihange 3

La stratégie globale consiste à éviter une surpression dans l'enceinte. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de dépressuriser le circuit primaire afin, d'une part, d'y faciliter l'injection de sécurité à basse pression et, d'autre part, d'atténuer voire d'éviter les phénomènes d'échauffement direct de l'enceinte suite à la dispersion du corium – et de pressurisation soudaine suite au dégagement de quantités importantes d'eau et de vapeur à haute pression présents dans le circuit primaire. Ces deux phénomènes peuvent entraîner une surpression de l'enceinte.

La stratégie consiste à dépressuriser le circuit primaire en utilisant les moyens ci-dessous :

- le refroidissement et la dépressurisation du circuit secondaire par le contournement au condenseur ou les vannes de décharge à l'atmosphère des générateurs de vapeur ;
- la dépressurisation directe du circuit primaire par l'aspersion auxiliaire ou d'ultime secours du pressuriseur ou par l'ouverture des vannes de décharge du pressuriseur ;
- le soutirage du circuit primaire par le circuit de contrôle volumétrique et chimique (CCV).

Lorsque la pression d'enceinte ne correspond plus à un état stable et contrôlé à long terme, la stratégie principale consiste à diminuer la pression d'enceinte. Cet objectif est atteint en refroidissant l'enceinte grâce aux moyens ci-dessous :

- les pompes d'aspersion d'enceinte, en injection directe à partir des bâches CTP ou en recirculation à partir des puisards. Trois pompes peuvent indépendamment assurer cette fonction ;
- les pompes du circuit d'injection de sécurité basse pression, suite à une connexion entre les lignes d'injection basse pression et les lignes du système d'aspersion d'enceinte. Ce raccordement permet l'injection directe à partir des bâches CTP ou la recirculation à partir des puisards. Trois pompes peuvent indépendamment assurer cette fonction.

Afin de diversifier encore davantage la fonction d'aspersion d'enceinte, une étude de faisabilité pour l'ajout d'une connexion bridée externe afin de pouvoir asperger dans le bâtiment réacteur grâce à une pompe mobile sera initiée. Une étude de faisabilité sera réalisée concernant l'installation d'évent filtré, destiné à mieux gérer la problématique de surpression d'enceinte et à éviter la perte du confinement par défaillance de l'enceinte si toutes les autres mesures préventives ont échoué à réduire la pression. Cet événement filtré a été analysé dans le cadre du projet LTO de l'unité 1 et sera étendu aux autres unités. Cet événement ne serait mis en œuvre que si la situation l'exige.

6.2.2.3. Prévention du risque de retour en criticité

Comme mentionné au paragraphe 6.1.1.4, le site dispose de capacités importantes d'acide borique de réserve, qui permettent d'éviter le recours à de l'eau sous borée voire non borée. Une des parades mise en œuvre lors de la diminution de l'inventaire d'eau borée disponible dans les bâches CTP ou B01Bi consiste à réalimenter celles-ci au moyen d'eau de caractéristiques adéquates.

Toutefois, le risque de retour en criticité suite à l'utilisation d'eau sous borée ou non borée dans le circuit primaire a été étudié de manière générique et conservative. Sur la base de cette étude, les guides génériques SAMG du WOG autorisent, de manière ultime, l'injection d'eau sous borée ou non borée dans le circuit primaire. Ce recours à de l'eau non borée est soumis à une évaluation préalable par l'équipe de gestion de crise et à des restrictions sévères d'utilisation. Dans le cadre des diverses études initiées par le WOG suite à l'accident de Fukushima, l'aspect analyse des appoints en eau borée/non borée sera abordé. Ses conclusions seront intégrées dans les évolutions futures des guides SAMG.

Au niveau du pilotage de l'accident proprement dit, la gestion des ressources en eau borée s'effectue par une injection avec un débit minimum, débit suffisant que pour assurer un refroidissement correct du cœur et assurant une consommation minimale d'acide borique.

6.2.2.4. Prévention du percement du radier : maintien du corium en cuve

a) Tihange 1

De manière préventive, la stratégie globale consiste à éviter le percement de la cuve. Cela consiste à injecter de l'eau dans le circuit primaire en utilisant les moyens ci-dessous :

- les pompes d'injection de sécurité haute pression, en injection directe à partir de la bache B01Bi. Trois pompes peuvent assurer cette fonction ;
- les pompes d'injection de sécurité basse pression, en injection directe à partir de la bache B01Bi ou en recirculation à partir des puisards. Deux pompes peuvent indépendamment assurer cette fonction ;
- les pompes d'aspersion d'enceinte de secours, suite à une connexion entre les lignes du système d'aspersion d'enceinte et les lignes d'injection basse pression. Ce raccordement permet l'injection directe à partir de la bache B01Bi ou la recirculation à partir des puisards. Deux pompes peuvent indépendamment assurer cette fonction ;
- les systèmes alternatifs d'injection : les pompes d'acide borique et d'eau dégazée du circuit de contrôle volumétrique et chimique, les pompes primaires et les moyens spécifiques en état d'arrêt.

Pour éviter le percement du radier au cas où la rupture de cuve aurait eu lieu, la stratégie principale consiste, dans un premier temps, à conserver le puits de cuve à sec de manière à favoriser l'étalement du corium et éviter le risque d'une explosion de vapeur et, dans un second temps, à injecter de l'eau dans le puits de cuve par l'intermédiaire des moyens listés ci-dessus. En effet, l'eau injectée dans le circuit primaire atteindra le puits de cuve suite au percement de cette dernière.

Une étude de faisabilité pour l'utilisation d'un moyen additionnel pour injecter de l'eau dans le puits de cuve (en plus de tous les moyens déjà existants) sera lancée.

b) Tihange 2 et Tihange 3

De manière préventive, la stratégie globale consiste à éviter le percement de la cuve. Cela consiste à injecter de l'eau dans le circuit primaire en utilisant les moyens ci-dessous :

- les pompes d'injection de sécurité haute pression, en injection directe à partir des baches CTP ou en recirculation à partir des puisards. Trois pompes peuvent indépendamment assurer cette fonction ;
- les pompes d'injection de sécurité basse pression, en injection directe à partir des baches CTP ou en recirculation à partir des puisards. Trois pompes peuvent indépendamment assurer cette fonction ;
- les pompes d'injection d'ultime secours à partir des réservoirs d'ultime secours. Deux pompes peuvent assurer cette fonction ;
- les pompes d'aspersion d'enceinte, suite à une connexion entre les lignes du système d'aspersion d'enceinte et les lignes d'injection basse pression. Ce raccordement permet l'injection directe à partir des baches CTP ou la recirculation à partir des puisards. Trois pompes peuvent indépendamment assurer cette fonction ;
- les systèmes alternatifs d'injection : les pompes du circuit de contrôle volumétrique et chimique, les pompes du circuit d'appoint en eau et bore, les pompes primaires et les moyens spécifiques en état d'arrêt.

Pour éviter le percement du radier au cas où la rupture de cuve aurait eu lieu, la stratégie principale consiste, dans un premier temps, à conserver le puits de cuve à sec de manière à favoriser l'étalement du corium et éviter le risque d'une explosion de vapeur et, dans un second temps, à injecter de l'eau dans le puits de cuve par l'intermédiaire des moyens ci-dessus. En effet, l'eau injectée dans le circuit primaire atteindra le puits de cuve suite au percement de cette dernière.

Une étude de faisabilité pour l'utilisation d'un moyen additionnel pour injecter de l'eau dans le puits de cuve (en plus de tous les moyens déjà existants) sera lancée.

6.2.2.5. Besoins et alimentation en courant électrique continu et alternatif et en air comprimé des équipements utilisés pour la préservation de l'intégrité du confinement

a) Tihange 1

Parmi les moyens identifiés pour la mise en œuvre des stratégies ci-dessus, les pompes relatives aux circuits suivants sont secourues par les groupes Diesel de sauvegarde : circuit d'eau alimentaire

de secours, circuit d'injection de sécurité, circuit d'aspersion d'enceinte, circuit de contrôle volumétrique et chimique, circuit d'eau de nappe et circuit d'air comprimé. Le contrôle/commande est secouru par les batteries et par les groupes Diesel de sauvegarde *via* les redresseurs. Le fonctionnement des vannes de l'aspersion auxiliaire du pressuriseur et du contournement au condenseur et à l'atmosphère, ainsi que le soutirage excédentaire du circuit de contrôle volumétrique et chimique, ne nécessite pas de courant alternatif, et le contrôle/commande est secouru par les batteries et les groupes Diesel de sauvegarde *via* les redresseurs. Les tandems SEBIM du pressuriseur fonctionnent sur du courant continu, secouru par les batteries et les groupes Diesel de sauvegarde *via* les redresseurs.

Afin de fiabiliser au maximum l'alimentation électrique de l'instrumentation, une possibilité de réalimentation au moyen de groupes électrogènes autonomes sera étudiée.

b) Tihange 2 et Tihange 3

Parmi les moyens identifiés pour la mise en œuvre des stratégies ci-dessus, les pompes relatives aux circuits suivants sont secourues par les groupes Diesel du premier niveau : circuit d'injection de sécurité, circuit d'eau alimentaire de secours, circuit d'aspersion d'enceinte, circuit de contrôle volumétrique et chimique, circuit d'appoint en eau et bore et circuit d'air comprimé. Les pompes d'ultime secours sont alimentées par les groupes Diesel du second niveau. Le contrôle/commande est secouru par les batteries et par les groupes Diesel de sauvegarde *via* les redresseurs. Le soutirage excédentaire du circuit de contrôle volumétrique et chimique est secouru par les deux niveaux de protection. Le fonctionnement des vannes de décharge, de l'aspersion auxiliaire et de l'aspersion ultime du pressuriseur, ainsi que du contournement au condenseur et à l'atmosphère, ne nécessite pas de courant alternatif, et le contrôle/commande est secouru par les batteries et les groupes Diesel de sauvegarde *via* les redresseurs. Les vannes d'aspersion d'ultime secours du pressuriseur sont secourues par le second niveau. Les PORV's nécessitent une réalimentation en air comprimé. Les alimentations électriques des deux niveaux de protection des unités peuvent être connectées pour permettre leur réalimentation mutuelle en cas de défaillance. **Une procédure va être rédigée pour intégrer cette manipulation. Le stockage éventuel de câbles pour réaliser les interconnexions entre les différents tableaux électriques y sera prévu.**

Afin de fiabiliser au maximum l'alimentation électrique de l'instrumentation, une possibilité de réalimentation au moyen de groupes électrogènes autonomes sera étudiée.

6.2.2.6. Cinétique et risques d'effet falaise

Les Bâtiments Réacteurs (BR) de Tihange sont du type **Large Dry Containment**. Le grand volume disponible pour l'expansion des gaz permet, en première instance, de limiter la pressurisation suite à une décharge d'eau, de vapeur et de gaz non condensables dans le BR. L'enceinte primaire est constituée d'un cylindre en béton précontraint avec une peau d'étanchéité métallique. Le tableau 5 présente les caractéristiques des BR prises en compte pour les études d'intégrité de l'enceinte lors d'accident hors conception. Les « pressions ultimes » sont celles auxquelles des fuites importantes deviennent probables au niveau des sas d'entrée matériel. Néanmoins, le dépassement de la pression ultime n'entraîne pas la ruine complète de l'enceinte.

Large Dry Containment

Se dit d'une enceinte dont le vaste volume intérieur est maintenu « sec » durant l'exploitation. D'autres types d'enceintes contiennent un important volume d'eau ou de glace destiné à condenser la vapeur produite en cas de rupture de tuyauterie à l'intérieur du BR.

Tableau 5 ↘
Caractéristiques des bâtiments réacteur

	Tihange 1	Tihange 2	Tihange 3
Pression de conception [bar abs]	4.1	4.5	4.5
Pression ultime [bar abs]	> 6	> 6	> 6
Volume libre [m ³]	68 446	67 856	71 812
Épaisseur Radier [m]	2.15	2.64	2.64
Nombre de PAR's [-]	37	38	40
Surface PAR's [m ²]	376	329	396

Le système de refroidissement/dépressurisation des BR est constitué de plusieurs pompes d'aspersion – six à Tihange 1 (deux fonctionnant en aspersion directe, deux en recirculation et deux dans les deux modes) et trois à Tihange 2 et 3, pouvant travailler en mode aspersion directe ou en mode recirculation – auxquelles s'ajoutent les pompes d'injection de sécurité basse pression (deux à Tihange 1, trois à Tihange 2 et 3) qui peuvent reprendre cette fonction de refroidissement en cas de défaillances multiples. Le puits de cuve se trouve au même niveau que le puisard du BR et est isolé de ce dernier. À l'exception de quelques cas particuliers d'accident, le puits de cuve reste sec. En cas d'accident avec fusion de cœur, la stratégie consiste, dans un premier temps, à conserver le puits de cuve sec, de manière à favoriser l'étalement du corium après le percement de la cuve et, dans un second temps, à y injecter de l'eau par l'intermédiaire des moyens d'alimentation du circuit primaire. En effet, l'eau injectée atteindra le puits de cuve suite au percement de cette dernière. Cette action est nécessaire afin d'arrêter ou d'atténuer les interactions corium/béton potentielles qui attaqueraient le radier du puits de cuve (dont l'épaisseur est présentée dans le tableau).

Les modes de défaillance possibles du BR, jusqu'au moment (inclus) du percement de la cuve, sont énumérés ci-dessous.

a) Contournement du BR au niveau d'une pénétration

Ceci serait la conséquence d'un événement initiateur hors conception. Toutes les pénétrations dans le BR sont munies de deux organes d'isolement redondants, dont les vannes se ferment automatiquement en cas de perte de leur contrôle commande. Dans la majorité des cas, l'opérateur peut, après avoir identifié la fuite, actionner des vannes supplémentaires pour isoler la ligne. De telles fuites, bien qu'improbables, sont difficiles à exclure mais sont facilement isolables.

b) Rupture induite d'un tube de GV

Une telle rupture peut constituer une voie de contournement de l'enceinte pendant les premières heures d'un accident de fusion de cœur, avant le percement de la cuve. Ce type de défaillance est généralement évité parce que la rupture du CRP par fluage est plus probable au niveau de la branche chaude. Une brèche peut survenir au niveau des tubes des GV si une pression élevée dans le circuit primaire est combinée avec des GV dépressurisés et secs du côté du circuit secondaire. Les SAMG identifient plusieurs méthodes pour remédier à ce phénomène : réduire la pression dans le circuit primaire, isoler et/ou remplir les GV.

c) Explosion d'hydrogène

L'oxydation des gaines de combustible, pendant un scénario de fusion de cœur, produit de l'hydrogène. L'accumulation de ce gaz dans l'enceinte peut mener à un risque de déflagration. Pour éviter cela, les BR de Tihange sont munis de recombineurs autocatalytiques passifs (PAR) dans les différents compartiments de l'enceinte. Dès que la concentration volumique d'hydrogène atteint 2 % dans l'enceinte (donc bien en deçà du seuil de déflagration), ces recombineurs entrent en fonction et réduisent les concentrations d'hydrogène et de monoxyde de carbone. Les PAR couvrent aussi le risque d'explosion d'hydrogène à long terme, donc après le percement éventuel de la cuve. Le recombineur thermique permet de limiter la quantité d'hydrogène présent dans le BR à long terme.

d) Autres modes de défaillance

L'éventuel percement de cuve est un moment clé dans le déroulement d'un accident avec fusion de cœur. En effet, les phénomènes qui peuvent en découler sont susceptibles de dégrader l'intégrité de l'enceinte. Le moment du percement de cuve dépend, en premier lieu, des possibilités d'évacuer la puissance résiduelle avant l'endommagement du cœur. Celles-ci étant minimales en cas de SBO complet, cette situation est retenue comme référence pour la suite de l'exposé. L'endommagement du cœur peut être évité pendant plusieurs heures, dans le cas d'une configuration initiale de CRP fermé, au moyen d'une alimentation des GV par la turbopompe. Si l'unité est en configuration « CRP ouvert », l'appoint gravitaire (sauf unité 3 dont la configuration est traitée au paragraphe 6.2.1.3.c) à partir des réservoirs CTP (B01Bi à T1) peut lui aussi retarder de plusieurs heures l'endommagement du cœur. Dans le cas, très hypothétique, où toute injection serait impossible dans les circuits primaire et secondaire, la fusion du cœur surviendrait dans les premières heures et le percement de la cuve après plusieurs heures.

Les phénomènes suivants pourraient menacer l'intégrité de l'enceinte dans cette phase :

- la dispersion du corium dans le BR (*High Pressure Melt Ejection*) menant à l'échauffement soudain de l'air présente dans le BR (*Direct Containment Heating*);
- la pressurisation par le dégagement dans le BR de quantités importantes d'eau et de vapeur présentes dans le CRP;
- la pressurisation de l'enceinte due à une explosion de vapeur par le contact entre le corium et l'eau présente dans le puits de cuve.

Les deux premiers phénomènes peuvent être atténués, voire évités, par la dépressurisation du circuit primaire avant le percement de la cuve, principalement au moyen des soupapes SEBIM (unité 1) et des vannes de décharge du pressuriseur (PORV et MORV unités 2 et 3).

Ces phénomènes ont fait l'objet de différents programmes d'études internationaux dont quelques-uns n'ont pas encore abouti à des résultats concluants. Les deux premiers phénomènes peuvent être évités par la dépressurisation du primaire avant le percement de cuve. Dans le cas, hypothétique, d'un puits de cuve entièrement noyé (par exemple en cas de fuite/brèche du circuit primaire donnant sur le puits de cuve), une explosion de vapeur pourrait avoir lieu suite à la fragmentation rapide du corium dans l'eau, et porter préjudice à l'enceinte de confinement. La perte de l'intégrité de l'enceinte de confinement est traitée dans le paragraphe 6.2.3. Une explosion de vapeur est par contre peu probable car les expériences menées dans le cadre des divers programmes de recherche n'ont pas pu créer ce phénomène.

Sur le long terme, deux modes de défaillance de l'enceinte pourraient exister à Tihange. D'une part le percement du radier du puits de cuve (*BaseMat Melt Through*), d'autre part la pressurisation du BR par la production de vapeur résultant de l'évacuation de la puissance résiduelle et/ou de la production de gaz non condensables produits par les interactions corium/béton.

Au moment du percement de la cuve, le puits de cuve est sec dans la majorité des cas (tel que préconisé dans les SAMG). Ceci favorise un étalement maximal du corium sur la surface du radier du puits de cuve et évite le risque d'explosion de vapeur. Sans appoint d'eau *via* le CRP, des interactions corium/béton sont inévitables. Sur la base de calculs conservatifs, le percement du radier en conditions sèches devrait intervenir plusieurs jours après le percement de la cuve.

Néanmoins, des expériences prototypiques de corium en interaction avec du béton du type calcaire (type présent à Tihange) montrent qu'il est possible de refroidir le corium avec de l'eau après le début de l'attaque du béton. La vapeur dégagée entraînerait alors la pressurisation lente de l'enceinte. Le délai avant percement du radier implique que, même dans des configurations extrêmement dégradées, il reste une marge de temps appréciable pour effectuer les raccordements permettant d'amener de l'eau dans le puits de cuve grâce à une injection dans le circuit primaire.

Une étude de faisabilité pour la mise en œuvre d'un moyen supplémentaire d'injection d'eau vers le puits de cuve sera initiée.

La puissance résiduelle libérée dans le BR sous forme de vapeur peut être évacuée par l'aspersion d'eau froide à moyen terme, et/ou par un circuit de refroidissement avec échangeur (circuit CAE et/ou CIS en mode de recirculation) à plus long terme. Si un tel refroidissement n'est pas réalisé, la pression de conception du BR est atteinte après au moins un jour et la pression ultime après plusieurs jours.

Afin de diversifier encore davantage la fonction d'aspersion d'enceinte, une étude de faisabilité pour l'ajout d'une connexion bridée externe afin de pouvoir asperger dans le bâtiment réacteur grâce à une pompe mobile sera initiée.

Une étude de faisabilité sera réalisée concernant l'installation d'évent filtré, destiné à mieux gérer la problématique de surpression d'enceinte et à éviter la perte du confinement par défaillance de l'enceinte si toutes les autres mesures préventives ont échoué à réduire la pression.

Tableau 6 ↘

Stratégie de gestion en accident grave et moyens mis en œuvre

Stratégie	Objectifs	Moyens	Alimentations électriques nécessaires
Injection d'eau dans les générateurs de vapeur	Évacuer la puissance résiduelle et éviter le percement de la cuve	Pompes d'eau alimentaire normale	L'alimentation en courant alternatif est non secourue
		Pompes du circuit d'eau d'extraction	
		Pompes d'eau brute	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les GDS
		Pompes d'eau alimentaire auxiliaires (Ti 2 et 3) ou de secours (Ti 1)	
		Pompes d'eau alimentaire d'ultime secours sur Tihange 2 et 3	
Dépressurisation du circuit primaire	Maximiser les sources capables d'alimenter le primaire	Contournement au condenseur	L'alimentation en courant alternatif n'est pas nécessaire
		Contournement à l'atmosphère	
		Aspersion auxiliaire du pressuriseur	
		Les vannes de décharge du pressuriseur sur Tihange 2 et 3 ou les soupapes SEBIM sur Tihange 1	L'alimentation en courant alternatif n'est pas nécessaire pour la décharge pressuriseur sur Tihange 2 et 3. Par contre, une alimentation en courant continu est nécessaire sur Tihange 1 et secourue par les batteries et les GDS.
		Le soutirage excédentaire du CCV	Alimentation secourue par les deux niveaux sur Tihange 2 et 3 et non nécessaire sur Tihange 1
		Aspersion ultime secours du pressuriseur sur Tihange 2 et 3 par le circuit d'injection d'ultime secours	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les GDU.
Injection d'eau dans le circuit primaire	Évacuer l'énergie accumulée dans le cœur	Pompes d'injection de sécurité basse pression	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les GDS.
	Assurer un moyen de refroidissement du cœur	Pompes d'injection de sécurité haute pression	
	Éviter ou retarder la rupture de la cuve du réacteur	Pompes du circuit d'aspersion d'enceinte lignées sur CIS	
		Pompes de charge du circuit CCV	
		Pompes du circuit d'appoint en bore	
		Pompes d'alimentation en eau déminéralisée dégazée	
	Pompes du circuit d'injection d'ultime secours sur Tihange 2 et 3	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les GDU.	
Pompes primaires	L'alimentation en courant alternatif est non secourue.		

Stratégie	Objectifs	Moyens	Alimentations électriques nécessaires
Injection d'eau dans l'enceinte	Garantir un NPSH suffisant pour le passage en recirculation	Pompes d'aspersion d'enceinte	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les GDS.
		Pompes d'injection de sécurité basse pression lignées sur le CAE	
Injection d'eau dans le puits de cuve	Refroidir les débris du cœur présents dans le puits de cuve	Pompes d'injection de sécurité basse pression	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les GDS.
		Pompes d'injection de sécurité haute pression	
	Pompes du circuit d'aspersion d'enceinte lignées sur CIS		
	Pompes du circuit d'appoint en bore		
	Pompes d'alimentation en eau déminéralisée dégazée		
Diminution de la pression d'enceinte	Maintenir l'intégrité de l'enceinte	Pompes d'aspersion d'enceinte	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les GDS.
	Faciliter l'injection basse pression	Pompes d'injection de sécurité basse pression lignées sur CAE	
	Prévention de l'explosion d'hydrogène	Recombineurs autocatalytiques	Passif

6.2.2.7. Adéquation des mesures de gestion actuelles et dispositions additionnelles possibles

a) Adéquation des mesures de gestion actuelles y compris les procédures d'accident grave

Idem paragraphe 6.2.1.4.a.

b) Adéquation et disponibilité de l'instrumentation

Idem paragraphe 6.2.1.4.b.

c) Disponibilité et habitabilité de la salle de conduite

Idem paragraphe 6.2.1.4.c

d) Évaluation de l'accumulation potentielle d'hydrogène dans les bâtiments annexes du BR

Idem paragraphe 6.2.1.4.d.

6.2.3. Mesures actuelles de gestion des accidents pour minimiser les conséquences d'une perte d'intégrité du confinement

a) Mitigation des rejets de produits de fission pour protéger la santé et la sécurité de la population.

Cette stratégie s'applique lorsque la libération de matières radioactives dans l'enceinte atteint le niveau à partir duquel on peut raisonnablement s'attendre à des rejets atmosphériques, qui requièrent des mesures de protection pour la population à l'extérieur du site.

Les moyens identifiés diffèrent selon la provenance des rejets :

- pour les rejets en provenance de l'enceinte, les moyens identifiés sont l'aspersion dans le BR (par les pompes d'aspersion directe, de recirculation et de secours du circuit d'aspersion d'enceinte et par les pompes du circuit d'injection de sécurité basse pression à Tihange 1, et par les pompes du circuit d'aspersion d'enceinte et du circuit d'injection de sécurité basse pression à Tihange 2

et 3), la ventilation/filtration de l'espace annulaire et l'ajout de soude dans l'eau des puisards de l'enceinte (piégeage de l'iode);

- pour les rejets en provenance des générateurs de vapeur, les moyens identifiés sont le remplissage en eau, l'isolement et le relâchement de la vapeur du générateur de vapeur affecté vers le condenseur (ou vers la purge des générateurs de vapeur à Tihange 1) plutôt que vers l'atmosphère, et d'autres moyens alternatifs (comme l'aspersion des relâchements de vapeur avec des tuyaux d'incendie flexibles);
- pour les rejets en provenance du bâtiment des auxiliaires nucléaires, les moyens identifiés sont le fonctionnement des systèmes de ventilation/filtration, en cas de défaillance de pénétrations d'enceinte l'isolement des pénétrations d'enceinte à l'origine des relâchements, et en cas de fuite sur une des voies de recirculation la réduction du débit de recirculation, l'isolement de la voie de recirculation et l'utilisation d'autres voies.

b) Injection d'eau dans les générateurs de vapeur pour piéger les produits de fission apparus suite à une fuite des tubes de générateurs de vapeur

Cette stratégie s'applique lorsque le niveau d'eau dans les générateurs de vapeur est insuffisant. Les moyens identifiés sont, lorsque la pression est élevée dans les GV : les pompes d'eau alimentaire de secours (Tihange 1), les pompes d'eau alimentaire auxiliaire (Tihange 2 et 3), les pompes d'eau alimentaire d'ultime secours (Tihange 2 et 3) et les pompes d'eau alimentaire normale. Lorsque les GV sont à basse pression, on utilise les pompes du circuit d'eau d'extraction, les pompes d'eau brute (Tihange 1, 2 et 3).

c) Injection d'eau dans le circuit primaire pour piéger les produits de fission relâchés des débris du cœur

Cette stratégie s'applique lorsque la température de sortie du cœur est indicative d'un cœur dénoyé. Les moyens identifiés sont les pompes du circuit d'injection de sécurité haute et basse pression, les pompes (de secours à Tihange 1) du circuit d'aspersion d'enceinte, les pompes du circuit d'injection d'ultime secours (Tihange 2 et 3), les pompes (d'acide borique et d'eau dégazée à Tihange 1) du circuit de contrôle volumétrique et chimique, les pompes du circuit d'appoint en eau et bore (Tihange 2 et 3), les pompes primaires et les moyens spécifiques en état d'arrêt.

d) Injection d'eau dans l'enceinte

Cette stratégie, qui a pour objectif de garantir un NPSH suffisant pour le passage en recirculation et d'assurer, de façon préventive, la présence d'un volume d'eau dans l'enceinte pour piéger les produits de fission provenant des débris situés hors du puits de cuve, s'applique lorsque le niveau d'eau dans les puisards de l'enceinte est insuffisant.

Les moyens identifiés sont les pompes d'aspersion (directe et de secours à Tihange 1) du circuit d'aspersion d'enceinte, les pompes du circuit d'injection de sécurité basse pression (uniquement à Tihange 1) ainsi que l'ajout de soude dans l'eau des puisards de l'enceinte.

e) Contrôle des conditions de l'enceinte

Cette stratégie, qui a pour objectif de réduire la concentration de produits de fission et de piéger les produits de fission relâchés de l'enceinte, s'applique lorsque la pression d'enceinte ne correspond plus à un état stable et contrôlé à long terme.

Les moyens identifiés sont les pompes d'aspersion (directe, de recirculation et de secours à Tihange 1) du circuit d'aspersion d'enceinte, les pompes du circuit d'injection de sécurité basse pression, ainsi que l'ajout de soude dans l'eau des puisards de l'enceinte.

f) Injection d'eau dans le puits de cuve pour piéger les produits de fission relâchés des débris situés dans le puits de cuve et dans la cuve

Cette stratégie s'applique lorsque la température de sortie du cœur est indicative d'un cœur toujours en cours de dégradation.

Les moyens identifiés sont les pompes du circuit d'injection de sécurité haute et basse pression, les pompes du circuit d'injection d'ultime secours (Tihange 2 et 3), les pompes (de secours à Tihange 1) du circuit d'aspersion d'enceinte, les pompes du circuit d'appoint en eau et bore (Tihange 2 et 3) et les pompes (d'acide borique et d'eau dégazée à Tihange 1) du circuit de contrôle volumétrique et chimique.

Avant de suivre les guides préconisant les actions développées ci-dessus, l'équipe de quart doit vérifier toutes les voies potentielles de relâchements de produits de fission. L'application de ces stratégies implique également une surveillance à long terme des risques qui peuvent découler de leur mise en œuvre.

6.2.3.1. Adéquation des mesures de gestion actuelles et dispositions additionnelles possibles

a) Adéquation des mesures de gestion actuelles y compris les procédures d'accident grave

Idem paragraphe 6.2.1.4.a.

b) Adéquation et disponibilité de l'instrumentation

Idem paragraphe 6.2.1.4.b.

c). Disponibilité et habitabilité de la salle de conduite

Idem paragraphe 6.2.1.4.c.

d) Évaluation de l'accumulation potentielle d'hydrogène dans les bâtiments annexes du BR

Idem paragraphe 6.2.1.4.d.

6.2.4. Mesures actuelles de gestion des accidents pour revenir à un état stable et contrôlé

L'ampleur et la combinaison des agressions externes considérées dans le présent cadre mènent, dans un certain nombre de cas, à des accidents hors conception lors desquels des fonctions de sûreté essentielles peuvent être perdues. Les stratégies de gestion d'accident décrites dans les paragraphes précédents ont pour objectif premier d'éviter la perte des fonctions de sûreté et, lorsque ceci n'est pas possible, d'en atténuer les conséquences. Si des fonctions de sûreté sont perdues, la stratégie vise le retour vers un état stable et contrôlé.

Il s'agit donc de s'assurer que :

- les rejets vers l'environnement sont négligeables ;
- la pression et la température dans le bâtiment réacteur sont normalisées et stables ;
- le cœur soit refroidi et la puissance résiduelle évacuée.

La configuration de refroidissement du cœur peut différer selon l'état initial de la tranche, le déroulement de l'accident et la disponibilité des équipements utilisés pour évacuer la puissance résiduelle. L'évacuation de la chaleur par ébullition dans le circuit primaire, ou dans le puits de cuve si la cuve est percée, est possible à court et à moyen terme pour autant que l'appoint en eau nécessaire pour compenser l'évaporation et la condensation, voire l'évacuation de la vapeur libérée dans le bâtiment réacteur, soit garanti.

À long terme, le passage vers une configuration de refroidissement en boucle fermée s'impose, afin d'arrêter l'appoint en eau au puisard. Sinon, l'aspersion enceinte dans le bâtiment réacteur et/ou l'injection dans le circuit primaire feront monter le niveau d'eau du puisard, entraînant la perte d'équipements de sûreté et finalement la perte de l'intégrité du bâtiment réacteur.

6.3 Pour l'entreposage du combustible usé

➤ L'objectif principal ici est d'éviter le découvrement du combustible entreposé dans les piscines de stockage, que ce soit en rétablissant un refroidissement actif des piscines ou en assurant un appoint d'eau par des moyens disponibles (conventionnels ou non).

Même sans aucun apport d'eau, le délai avant découvrement du combustible se compte en jours pour les piscines de désactivation des unités et en semaines pour le bâtiment d'entreposage intermédiaire DE. Cela laisse largement le temps d'installer ou de faire venir un appoint alternatif en eau, si tous les moyens classiques sont indisponibles.

6.3.1. Mesures de gestion des conséquences d'une perte de la fonction de refroidissement de l'eau des piscines

6.3.1.1. Mesures actuelles de gestion de l'accident

Le refroidissement des piscines de désactivation du BAN D est assuré en temps normal par un circuit fermé (CTP circuit de traitement des piscines) constitué de deux pompes et de deux échangeurs refroidis par le CRI (circuit de refroidissement intermédiaire). Des interconnexions permettent de combiner chaque échangeur de chaleur avec chaque pompe de refroidissement. En exploitation normale, seuls une pompe et un échangeur sont en service, les autres étant prêts à prendre la relève en cas de problème. La source froide des échangeurs CTP est assurée de manière ininterrompue par la partie commune du circuit CRI. Les alimentations électriques normales des pompes CTP sont assurées au départ des tableaux 380 V, non secourus et non classés, alimentés *via* les tableaux 6,6 kV ou 6 kV.

Le refroidissement des piscines de désactivation du bâtiment DE de Tihange 3 est assuré en temps normal par un circuit fermé (STP circuit de traitement des piscines) constitué de deux pompes et de deux échangeurs refroidis par le SRI (circuit de refroidissement intermédiaire alimenté par le CRI de l'unité 3). En exploitation normale, seuls une pompe et un échangeur sont en service, l'autre ensemble étant prêt à prendre la relève en cas de problème sur un des équipements (pompe ou échangeur) du premier. Des interconnexions permettent de combiner chaque échangeur de chaleur avec chaque pompe de refroidissement. La source froide des échangeurs STP de Ti3 est assurée de manière ininterrompue par le circuit SRI (circuit de refroidissement intermédiaire). Les alimentations électriques normales des pompes STP sont assurées au départ des tableaux 380 V, non secourus non classés, alimentés *via* les tableaux 6,6 kV.

Quatre grands types de défaillances peuvent affecter le circuit de refroidissement des piscines: la perte d'un équipement individuel (pompe ou échangeur), la perte des alimentations électriques des pompes, la perte de la source froide et la perte de l'inventaire en eau.

En cas de perte d'un équipement individuel (pompe ou échangeur), la reprise du refroidissement par l'équipement en réserve est assurée par permutation manuelle.

En cas de perte complète des alimentations électriques extérieures (LOOP) à Tihange 1, on procédera à un appoint gravitaire depuis le réservoir B01Bi ou *via* la pompe P04Bd et à l'extraction des vapeurs *via* le ventilateur VBP A65Az2.

En cas de perte complète des alimentations électriques extérieures (LOOP) à Tihange 2 ou/et 3, les pompes de refroidissement CTP et STP sont réalimentées au départ des tableaux électriques 380 V secourus du BUS, moyennant un raccordement adéquat (commutation dans les coffrets électriques). Les procédures de conduite accidentelles ECA-0.0 (« perte des alimentations électriques alternatives

niveau 1 ») et EE-0 (« stabilisation de la chaudière à partir de la salle de conduite BUS »), utilisée si le transfert vers la salle de conduite du BUS a été décidé) exigent systématiquement cette réalimentation. Dans les deux cas, on permutera l'alimentation électrique des pompes du CTP (et STP) vers les tableaux secourus 380 V du second niveau.

En cas de perte complète de la source froide principale à Tihange 1, la réalimentation en eau de nappe des échangeurs de refroidissement des piscines est prévue par les procédures de conduite accidentelles.

En cas de perte complète de la source froide premier niveau (assurée par le CRI) à Tihange 2 et/ou 3, une connexion fixe réalimente les échangeurs CTP en eau de refroidissement venant du CRU (circuit de refroidissement ultime). N'importe lequel des trois trains CRU peut alors alimenter les échangeurs CTP. Le basculement sur la source froide second niveau (CRU/CEU) est demandé systématiquement lors de l'application des procédures mentionnées ci-dessus.

En cas de perte complète de la source froide de premier niveau pour les piscines du bâtiment DE de Tihange 3 (assurée par le CRI et le SRI), une réalimentation par flexibles par le CEU (circuit d'eau ultime du second niveau) de l'unité 3 est prévue. En cas de défaillance de l'alimentation CEU au départ de l'unité 3, les puits du circuit CEU de l'unité 2 peuvent être connectés *via* flexible pour réalimenter les échangeurs STP.

Tous ces éléments permettent d'assurer le refroidissement des piscines et donc d'éviter d'en arriver à l'ébullition, avec la perte d'inventaire qu'elle comporte.

En cas de perte complète de toutes les sources froides, et avant toute perte significative d'eau, un appoint continu peut être assuré par des moyens mobiles d'appoint *via* le circuit d'eau incendie (CEI). Cet appoint est également réalisable en cas de *station black-out* ou d'inondation. De plus, à Tihange 1, une pompe supplémentaire est disponible (P04Bd) pour, d'une part, réaliser un appoint en piscine et, d'autre part, assurer le passage d'un débit suffisant côté eau à refroidir (CTP). Cette pompe, alimentée par le réseau électrique normal, peut être secourue par le groupe Diesel d'ultime repli (DUR). En cas de perte d'inventaire en eau de la piscine, les sources potentielles de réalimentation sont : les autres compartiments non affectés de la piscine, la bache B01Bi ou les réservoirs CTP, les pompes et réservoirs d'acide borique et d'eau dégazée, le réseau CEI *via* les dévidoirs présents dans le bâtiment D ou les moyens non conventionnels d'appoint (CMU).

6.3.1.2. Cinétique et risques d'effet falaise

a) BAN

L'incident de perte du refroidissement actif d'une piscine de désactivation est de nature lente et progressive. Les importants volumes d'eau, présents principalement pour la protection biologique, et les faibles puissances résiduelles (par rapport à celle présente dans le cœur), induisent des inerties considérables. La radioactivité encore importante des assemblages et la capacité de confinement moindre de certains des bâtiments d'entreposage nécessitent cependant une gestion d'accident adéquate, afin d'éviter le découvrement des assemblages et la perte d'intégrité des assemblages entreposés.

Les étapes successivement atteintes en cas de perte du refroidissement d'une piscine de désactivation sont décrites ci-dessous :

- Échauffement de l'eau jusqu'à l'ébullition. Après cette étape, la vapeur présente dans le local de la piscine et certains locaux avoisinants les rend inaccessibles pour une éventuelle intervention sur place (par exemple pour réaliser un appoint à la piscine ou récupérer le refroidissement par convection forcée) ;
- Perte de la protection biologique après l'évaporation de plusieurs mètres d'eau au-dessus des assemblages. Ceci rend les locaux encore moins accessibles pour des raisons dosimétriques. De plus, la configuration des prises d'eau de la convection forcée ne permet plus le refroidissement actif en dessous de ce niveau ;
- Découvrement des assemblages. À partir de ce moment, la température des gaines commence à monter, ce qui mène à terme à la perte de leur intégrité et potentiellement à la fusion des assemblages.

Les actions nécessaires pour éviter la progression de cette séquence consistent à assurer l’appoint en eau des piscines et récupérer la convection forcée. Ces actions doivent être réalisées en tenant compte des conditions limitatives des différentes étapes, dont le timing est présenté dans les tableaux 7 à 9. Trois configurations initiales de l’unité concernée sont prises en compte : lors du fonctionnement normal en puissance, à la fin d’un déchargement complet lorsque les piscines BR et BAN ne sont pas connectées (situation la plus pénalisante pour les piscines de désactivation) et à la fin d’un déchargement complet avec interconnexion entre les piscines BAN et BR.

Tableau 7 ↘

Timing des différentes étapes pendant l’incident de perte du refroidissement GTP unité 1

Étape / Configuration	Puissance	Déchargement sans connexion avec le BR	Déchargement avec connexion avec le BR
Ébullition [heures]	40,7	10,2	10,2
Barrière bio [jours]	13,0	3,7	5,8
Découvrement [jours]	16,5	4,7	9,3

Tableau 8 ↘

Timing des différentes étapes pendant l’incident de perte du refroidissement GTP unité 2

Étape / Configuration	Puissance	Déchargement sans connexion avec le BR	Déchargement avec connexion avec le BR
Ébullition [heures]	24,6	7,8	7,8
Barrière bio [jours]	4,2	1,5	3,6
Découvrement [jours]	6,6	2,4	6,8

Tableau 9 ↘

Timing des différentes étapes pendant l’incident de perte du refroidissement GTP unité 3

Étape / Configuration	Puissance	Déchargement sans connexion avec le BR	Déchargement avec connexion avec le BR
Ébullition [heures]	30,8	9,2	9,2
Barrière bio [jours]	6,7	2,3	4,3
Découvrement [jours]	9,9	3,4	6,6

À Tihange 2, le rapport « puissance résiduelle/volume d’eau » élevé entraîne le découvrement des assemblages après 2,4 jours sans appoint d’eau, dans la configuration la plus pénalisante. Pour la majorité des situations, le temps de grâce est bien supérieur (environ une semaine voire plus) dans les trois tranches.

La multiplicité des sources possibles d'appoint en eau (EDD, EDN, CAB, CTP, B01Bi, CUS, CEI, CMU), et les délais dont on dispose pour les mettre en œuvre, permettent d'assurer l'absence de risque à ce niveau.

b) Bâtiment DE

L'incident de perte du refroidissement actif des piscines de désactivation du bâtiment DE est de nature lente et progressive. Les importants volumes d'eau, présents principalement pour la protection biologique, et les faibles puissances résiduelles (seuls sont entreposés ici des assemblages usés non endommagés et déchargés depuis plus de deux ans), induisent une inertie considérable. La radioactivité non négligeable des assemblages nécessite cependant une gestion d'accident adéquate, afin d'éviter le découvrage des assemblages et la perte d'intégrité des assemblages entreposés.

Les étapes successivement atteintes en cas de perte du refroidissement des piscines du DE sont décrites ci-dessous :

- Échauffement de l'eau jusqu'à l'ébullition. Après cette étape, la vapeur présente dans le bâtiment le rend inaccessible pour une éventuelle intervention sur place (par exemple pour réaliser un appoint à la piscine ou récupérer le refroidissement par convection forcée);
- Perte de la protection biologique après l'évaporation de plusieurs mètres d'eau au-dessus des assemblages. Ceci rend les locaux encore moins accessibles. De plus, la configuration des prises d'eau de la convection forcée ne permet plus le refroidissement actif en dessous de ce niveau ;
- Découvrement des assemblages. À partir de ce moment, la température des gaines commence à monter, ce qui mène à terme à la perte de leur intégrité et potentiellement à la fusion des assemblages.

Les actions nécessaires pour éviter la progression de cette séquence consistent à assurer l'appoint en eau des piscines et récupérer la convection forcée. Ces actions doivent être réalisées en tenant compte des conditions limitatives des différentes étapes, dont le timing est présenté dans le tableau 10.

Ce timing représente le cas conservatif où tous les assemblages présents auraient la chaleur résiduelle maximale permise.

Cette inertie très importante (au moins 3 semaines) permet largement de mettre en place les mesures nécessaires pour éviter la perte du refroidissement des assemblages présents dans le bâtiment DE.

6.3.1.3. Adéquation des mesures actuelles de gestion et dispositions additionnelles possibles

Sans refroidissement actif, la chaleur dégagée est évacuée par la ventilation d'extraction des locaux des piscines *via* le système de filtration placé sur l'extraction des halls (par des trains secours).

Un appoint en eau de 14 m³/h est toujours suffisant pour compenser l'évaporation de l'eau des piscines de désactivation des trois unités.

Les conditions d'ambiance dans les halls des piscines sont suivies par les mesures des chaînes de radioprotection suivantes : machine de chargement (pour Tihange 3), « ambiance air plancher piscine » (toutes les unités) et « irradiation plancher piscine » (Tihange 1) ainsi que par les chaînes de surveillance (secourues et classées) sur l'extraction au niveau de la cheminée de rejet (toutes les unités).

Les instructions en cas de perte de l'inventaire d'eau en piscine sont reprises dans la procédure de manutention du combustible. S'y trouvent également les instructions en cas de problème lors des manutentions d'assemblage combustible.

Tableau 10 ↘
Timing des différentes étapes pendant l'incident de perte du refroidissement STP du bâtiment DE

Étape	Temps
Ébullition [heures]	102
Barrière bio [jours]	16,6
Découvrement [jours]	24,1

6.3.2. Points particuliers

6.3.2.1. Adéquation et disponibilité de l'instrumentation

Chaque tranche dispose d'une piscine de désactivation comportant un (pour Tihange 1) ou deux (Tihange 2 et 3) compartiments principaux d'entreposage des assemblages combustibles usés. Il faut y ajouter les huit compartiments d'entreposage du bâtiment DE à Tihange 3. Les compartiments annexes ne renferment pas d'assemblage mais contiennent des outillages, ou ne servent que lors des manipulations d'assemblages neufs (mise en piscine) ou usés (transfert lors du chargement/déchargement du cœur ou évacuation du combustible usé).

Toutes les piscines sont équipées de capteurs de niveau, donnant des alarmes en salle de conduite en cas d'écart par rapport au niveau nominal. De plus, toute variation de niveau est détectée par les mesures de pression à l'aspiration des pompes du circuit d'écumage des piscines.

La température des piscines est également mesurée en continu, et toute hausse déclenche une alarme en salle de conduite. Les températures du bâtiment DE de Tihange 3 sont mesurées et une alarme est reportée en salle de conduite.

En termes d'alimentation électrique, ces mesures sont alimentées en temps normal *via* des tableaux non classés mais secourus par les groupes Diesel de premier niveau, et dotées de batteries capables de pallier des manques de tension d'une durée limitée à 3 heures.

Dans le cadre des dossiers de modification liés au sujet de Révision Périodique de Sûreté – réévaluation de la protection contre l'inondation externe du site de Tihange –, **une instrumentation complémentaire de mesure du niveau, qualifiée aux conditions accidentelles, est proposée pour les piscines.** Dans le cadre du projet LTO de l'unité 1, ce point était déjà prévu.

6.3.2.2. Accumulation potentielle d'hydrogène

Les conséquences d'une perte du refroidissement des piscines de désactivation dépendent de deux paramètres : le délai avant le début d'ébullition de l'eau et le délai avant le découverture des assemblages combustibles lorsqu'aucune action pour compenser la perte d'eau n'a pu être entreprise.

Ces deux paramètres sont évalués en prenant des hypothèses conservatives concernant le moment de l'accident (juste après le déchargement complet du cœur) et donc la chaleur résiduelle produite par le combustible usé dans les piscines de désactivation. Les résultats montrent que, pour le scénario le plus pénalisant, l'eau entre en ébullition au plus tôt plusieurs heures après la perte totale de refroidissement dans la piscine de Tihange 2. Les assemblages combustibles émergent quelques jours après la perte totale de refroidissement si la piscine n'est pas approvisionnée en eau. Pour les autres unités, et particulièrement pour la piscine du bâtiment DE, le délai avant ébullition et découverture des assemblages combustibles est supérieur.

Pour évaluer le risque d'accumulation d'hydrogène dans les bâtiments des piscines de désactivation, il est nécessaire d'estimer la production de ce gaz. Deux sources de production d'hydrogène sont identifiées :

- l'oxydation des gaines du combustible en zirconium par la vapeur d'eau, après découverture des assemblages. La cinétique du découverture est décrite ci-dessus.
- la radiolyse de l'eau des piscines suite au rayonnement des assemblages. Cette production d'hydrogène existe en temps normal également. En circonstances accidentelles, cette production peut, à long terme, mener à une accumulation importante si la ventilation du bâtiment est indisponible.

Il en découle trois conclusions principales, exposées ci-dessous :

- tout d'abord le découverture des assemblages combustibles, menant à l'oxydation des gaines en zirconium, peut être évité en assurant l'appoint en eau des piscines. Les délais avant découverture des assemblages (quelques jours) et la diversification importante des moyens d'appoint le permettent. Un appoint en eau de 14 m³/h est toujours suffisant pour compenser l'évaporation des piscines des trois unités. Pour le bâtiment DE, un appoint de 5,1 m³/h est suffisant ;
- le système de ventilation doit assurer un renouvellement permanent de l'air dans les bâtiments des piscines de désactivation. Si ce système est indisponible, l'hydrogène produit par radiolyse

peut s'accumuler, de sorte que le risque d'une explosion ne peut être exclu. Dans le cas le plus pénalisant, où le cœur complet vient d'être déchargé dans la piscine de désactivation, le seuil d'inflammabilité peut être atteint après quelques jours ;

- étant donné la très faible chaleur résiduelle présente dans le bâtiment DE, la possibilité d'accumulation d'hydrogène est exclue. En effet, la production d'hydrogène par radiolyse est négligeable et le découverture des assemblages n'a lieu qu'une vingtaine de jours après la perte totale de refroidissement.

L'impact d'une production potentielle d'hydrogène dans les bâtiments des piscines de désactivation suite à un accident de perte totale de refroidissement des piscines est limité. Le rétablissement des systèmes de ventilation et les moyens d'appoint disponibles pour approvisionner les piscines en eau permettent d'écarter le risque d'accumulation d'hydrogène.

Une étude complémentaire sera lancée afin d'évaluer le risque résiduel d'accumulation d'hydrogène.

6.3.2.3. Retour à un état stable et contrôlé

Le retour vers un état stable et contrôlé, après la perte prolongée du refroidissement des piscines, consiste tout d'abord en la récupération du niveau normal dans les piscines. Sans refroidissement actif, la configuration de refroidissement est caractérisée par un appoint d'eau afin de compenser l'évaporation des piscines en ébullition et par l'évacuation passive de la vapeur vers l'environnement. Afin d'arrêter le rejet de vapeur vers l'environnement à long terme, une configuration de refroidissement en boucle fermée doit être réalisée.

7

SYNTHÈSE ET PLAN D'ACTION



7 Introduction	p. 236
7.1 Démarche d'Electrabel	p. 237
7.1.1. Organisation et méthodologie	
7.1.2. Premières améliorations des installations	
7.2 Résultats des évaluations	p. 238
7.2.1. Séisme	
7.2.2. Inondation et phénomènes naturels extrêmes	
7.2.3. Perte des alimentations électriques et des sources froides	
7.2.4. Organisation de crise et gestion des accident graves	
7.3 Calendrier des actions	p. 241

Introduction

➤ **Le but du présent rapport est de présenter l'analyse de la capacité des réacteurs de la centrale nucléaire de Tihange, exploités par Electrabel, à faire face à des événements initiateurs et des accidents « hors conception » ou « hors dimensionnement » d'origine naturelle, suite à l'accident de Fukushima.**

Rappelons que la conception initiale des installations de la Centrale Nucléaire de Tihange a été basée sur les normes de sûreté de l'USNRC, dont le concept de « défense en profondeur » est un des piliers de la philosophie de sûreté. Cette approche de la conception et de l'exploitation des installations nucléaires vise à empêcher la survenance ou réduire les conséquences des accidents susceptibles de conduire à un rejet de substances radioactives. En conformité avec le concept de défense en profondeur, l'objectif à long terme d'Electrabel en matière d'exploitation des centrales nucléaires est double :

- avant tout, empêcher la survenance d'accidents (politique de prévention);
- ensuite, dans l'hypothèse où les mesures préventives successives seraient défailtantes et le confinement des produits radioactifs ne serait plus assuré, limiter les rejets de ceux-ci dans l'environnement.

Par ailleurs, dès la conception de ces réacteurs, la protection contre les aléas naturels a été prise en compte. Ces aléas, et la capacité des installations à y faire face, sont réévalués tous les dix ans dans le cadre des Révisions Périodiques de Sûreté.

Cette démarche a conduit à adopter, dès l'origine ou à l'occasion des Révisions Périodiques de Sûreté, des critères de conception dépassant souvent les normes de sûreté internationales, afin de renforcer la robustesse des installations. C'est ainsi que toutes les unités de la centrale nucléaire de Tihange disposent :

- d'une double enceinte de confinement du réacteur comprenant également un liner métallique pour l'enceinte intérieure,
- de deux sources froides indépendantes (eau du fleuve et eau de nappe alluviale), sans compter l'accès à une nappe calcaire indépendante de la nappe alluviale
- de deux niveaux de protection (secours et ultime secours), faisant appel à des équipements (diesels, turboalternateur, batteries, tableaux électriques, réservoirs, pompes...), indépendants et diversifiés;
- de recombineurs catalytiques passifs d'hydrogène, en bâtiment réacteur.

Le 4 juillet 2011, l'Agence Fédérale belge de Contrôle Nucléaire (AFCN) a publié la version définitive des spécifications pour les tests de résistance applicables aux réacteurs nucléaires belges. Ce document est basé sur les spécifications ENSREG. Ces tests s'inscrivent dans le cadre de deux logiques parallèles :

- une première logique part de la définition d'événements initiateurs (séisme, inondation) et requiert l'analyse de leurs conséquences et des dispositions qui peuvent être prises pour prévenir la perte de contrôle du réacteur et pour réduire les conséquences des accidents;
- une seconde logique part de l'hypothèse (plausible ou non) de la perte de dispositifs de sûreté importants (perte de l'alimentation électrique à partir du réseau et des moyens de production d'électricité situés sur le site, perte de la source ultime de refroidissement ou combinaison de ces situations) sans se préoccuper des événements initiateurs qui en seraient à l'origine. Comme dans la première logique, elle requiert l'analyse des conséquences et des dispositions qui peuvent être prises pour prévenir, dans ces conditions, la perte de contrôle du réacteur et en réduire les conséquences.

Démarche d'Electrabel

7.1.1. Organisation et méthodologie

En sa qualité d'exploitant de la Centrale Nucléaire de Tihange, Electrabel a mis rapidement en place l'organisation nécessaire pour réaliser l'analyse demandée par les spécifications de l'AFCN.

Cette organisation s'est appuyée essentiellement sur les compétences nucléaires et les forces internes du Groupe GDF SUEZ, à savoir les équipes propres du « Corporate », de la Centrale Nucléaire de Tihange et celles de Tractebel Engineering, ainsi que sur celles de divers experts externes (belges et étrangers).

La démarche méthodologique appliquée pour la réalisation des tests de résistance a été décrite dans le rapport d'avancement (« *Progress Report* ») publié le 15 août 2011. Elle adresse tant la vérification de la conformité des installations à leur base de conception que leur capacité à faire face à des situations hors conception (évaluation des marges), en s'appuyant essentiellement sur les résultats d'études de sûreté existantes, complétées par des évaluations d'experts ou jugements d'ingénieur. Dans quelques cas précis, des études spécifiques complémentaires ont été réalisées afin de mieux appréhender les marges.

L'objectif général de sûreté poursuivi par Electrabel dans le cadre de cette démarche d'évaluation a été d'éviter autant que possible les rejets radioactifs dans l'environnement, par le maintien des fonctions essentielles de sûreté, soit à l'aide des équipements et systèmes (redondants et diversifiés) faisant partie des installations, soit en utilisant des moyens mobiles à déployer sur le site. Ceci correspond à privilégier la prévention de l'accident.

7.1.2. Premières améliorations des installations

Cet examen est basé sur l'état des installations au 30 juin 2011. À cet égard, une analyse a été entreprise très tôt après l'accident de Fukushima, afin de prendre en compte les premiers enseignements sans attendre les résultats des tests de résistance. En conséquence, des améliorations ont été apportées aux installations, à l'organisation de l'exploitant et aux procédures ; celles-ci ont conduit à une augmentation immédiate de la robustesse des installations, au-delà des multiples lignes de défense existantes, comme par exemple :

- des moyens complémentaires mobiles ont été installés et les procédures correspondantes ont été développées pour réaliser un appoint d'eau aux piscines de stockage du combustible et aux générateurs de vapeur de toutes les unités, afin d'assurer le maintien du refroidissement du combustible en cas d'inondation hors conception du site ;
- quelques renforcements ciblés d'équipements ont été réalisés pour garantir leur fonctionnement en cas de séisme.

Résultats des évaluations

Les chapitres précédents de ce rapport présentent les résultats détaillés des évaluations. Ils sont résumés dans les paragraphes qui suivent. Le tableau en page 241 liste les principales actions proposées dans les chapitres précédents. Ces actions peuvent être de différents types :

- adaptation ou accélération de modifications ou d'études en cours ;
- nouvelles modifications ou adaptations techniques ;
- études ou programmes de R&D additionnels ;
- modification de l'organisation (ressources, organisation de la gestion de crise, support externe) ;
- adaptation ou création de nouvelles procédures.

De façon générale, les **évaluations** réalisées dans le cadre des tests de résistance **ont démontré la capacité des installations de la centrale nucléaire de Tihange à maintenir les fonctions essentielles de sûreté**, soit à l'aide des équipements et systèmes (redondants et diversifiés) faisant partie de la conception des installations, soit en utilisant des moyens mobiles déployés sur le site. Pour quelques cas, des actions d'amélioration complémentaires ont été proposées ; celles-ci permettent d'augmenter encore la robustesse des installations face à des situations à caractère peu plausible au vu de la diversité des sources (électriques et en eau) déjà existantes sur le site de Tihange.

Ceci démontre la bonne robustesse des installations à faire face à ces situations extrêmes, compte tenu des nombreuses lignes de défense et des moyens mobiles qui ont été déployés et mis en place très tôt après l'accident de Fukushima.

Ces évaluations montrent également qu'aucun moyen matériel extérieur ne doit être mobilisé dans les premiers jours après la survenance des situations analysées, les équipements techniques nécessaires étant tous présents sur le site.

7.2.1. Séisme

En ce qui concerne l'adéquation du séisme de conception, une première étude du risque sismique a été entreprise par l'Observatoire Royal de Belgique. Cette étude conduit à une légère augmentation de l'accélération maximale en surface vis-à-vis de la valeur prise en compte pour le dimensionnement des unités. L'étude doit être complétée et consolidée et ne permet pas de statuer définitivement sur l'adéquation du séisme de conception. Néanmoins l'évaluation des marges réalisée dans le cadre des tests de résistance a démontré que la robustesse des équipements est largement supérieure à celle exigée par le séisme de conception.

L'évaluation des marges est effectuée sur base d'un « *Review Level Earthquake* » représentant plus de 1,7 fois l'accélération maximale en surface (PGA) de l'actuel séisme de conception. Elle a montré que tous les Systèmes, Structures et Composants (SSC) nécessaires à l'atteinte et au maintien d'un arrêt sûr sont suffisamment robustes, à l'exception de quelques éléments mécaniques et électriques (dont la justification ou le renforcement par des modifications simples à mettre en œuvre est en cours). L'opportunité de renforcer le Bâtiment des Auxiliaires Électriques de Tihange 1 est, par ailleurs, examinée.

Enfin, l'impact de la rupture éventuelle des réservoirs et sources d'eau présents sur le site consécutive à un séisme n'a aucune conséquence en matière de sûreté.

7.2.2. Inondation et phénomènes naturels extrêmes

La base de conception d'origine (crue de 1926 majorée de 20 %, correspondant à un débit de 2200 m³/sec) a été réévaluée dans le cadre de la Révision Périodique de Sûreté. Pour cette nouvelle valeur de la crue de référence (2615 m³/sec), qui correspond à une période de retour d'environ 200 ans, le site situé à 71,50 m d'altitude, est totalement protégé (site « sec »), la cote maximale du fleuve étant de 71,30 m.

L'évolution de la réglementation nucléaire a conduit à adopter une nouvelle méthodologie pour déterminer le niveau de la Meuse : il sera tenu compte désormais d'une crue dont la période de retour est de 10 000 ans (que l'on appelle « crue décennale »). L'étude qui correspond à ce nouveau cadre a montré que malgré le débordement progressif de la Meuse qui en résulterait, les systèmes existants de la centrale assurent le maintien du refroidissement du combustible jusqu'à la crue correspondant à une période de retour d'environ 400 ans pour Tihange 1, 600 ans pour Tihange 2 et 900 ans pour Tihange 3. Cependant, des moyens complémentaires, couplés à un processus de gestion préventive de l'événement (une crue de grande ampleur étant un phénomène lent et prévisible avec un temps de préavis suffisamment long) sont d'ores et déjà opérationnels sur le site pour assurer en toutes circonstances le maintien des fonctions de sûreté. **Le plan d'action défini dans le cadre de la Révision Périodique de Sûreté, permettant de garantir un site « sec » pour cette crue décennale, a été accéléré.** Il combine une protection périphérique (volumétrique) du site, des protections périmétriques locales de certains bâtiments et le renforcement des moyens non conventionnels.

Par ailleurs, l'impact de la rupture éventuelle du barrage amont sur la Meuse, ou du mauvais fonctionnement du barrage aval a été pris en compte dès la conception et ne conduit jamais à une entrée d'eau sur le site.

Enfin, les divers phénomènes naturels extrêmes (fortes pluies, vents violents, tornades, foudre, neige, grêle), pris en compte pour l'essentiel à la conception, sont sans conséquence sur le fonctionnement sûr des unités.

7.2.3. Perte des alimentations électriques et des sources froides

Compte tenu des multiples sources externes et internes d'alimentation électrique du site, et des sources froides disponibles les unités de la centrale de Tihange présentent un très haut niveau de robustesse en la matière. En effet, chaque unité dispose :

- de trois sources d'alimentation externe ;
- de deux sources froides ultimes indépendantes (eau du fleuve et eau de nappe alluviale), sans compter l'accès à une nappe calcaire indépendante de la nappe alluviale ;
- d'au moins deux niveaux (techniquement et géographiquement indépendants) de sources d'alimentation électrique interne (au total 16 groupes diesels et un turboalternateur), avec une autonomie totale en fuel de plusieurs semaines ;
- d'une turbopompe d'eau alimentaire de secours par unité ;
- de diverses capacités en eau de refroidissement.

En outre, des moyens mobiles (groupes électrogènes, flexibles, pompes, vannes..., certains totalement préinstallés) permettent de réalimenter en électricité les équipements essentiels et en eau les générateurs de vapeur et le circuit primaire. Leur capacité et temps de raccordement sont dimensionnés sur base de la dynamique des situations analysées.

En conséquence, le refroidissement du cœur et du combustible stocké en piscine peut être assuré avec un haut degré de certitude, même dans les cas très hypothétiques de perte des sources d'alimentation électrique, ou de la perte des sources froides. Il en résulte que, pour ces scénarios extrêmes, le risque de rejet important d'activité peut être raisonnablement écarté. En conclusion, le site dispose de moyens de secours et d'une autonomie suffisante pour la gestion de ce type d'accident compatible avec le délai de rétablissement d'une alimentation électrique externe ou de réapprovisionnement à partir de l'extérieur du site.

Néanmoins plusieurs mesures sont envisagées pour augmenter encore la robustesse des installations, en particulier en renforçant les apports en électricité et les appoints en eau ; elles se traduisent par le lancement d'actions telles que :

- les études de faisabilité pour augmenter l'autonomie de la bache EAS, pour ajouter une pompe d'eau alimentaire de secours et pour assurer la réalimentation électrique des pompes CTP et RRA, à Tihange 1 (études déjà en cours dans le cadre du dossier de prolongation de la durée de vie) ;
- l'étude de la mise en place de dispositifs supplémentaires de mesure du niveau d'eau en piscine ;
- le renforcement des moyens non conventionnels de réalimentation des batteries et de certains équipements (pompes, compresseurs, vannes) ;
- la rédaction ou la modification de procédures (réalimentation des équipements requis par des moyens non conventionnels, gestion des piscines, minimisation de la consommation de fuel des diesels en cas de perte prolongée des alimentations extérieures...).

7.2.4. Organisation de crise et gestion des accidents graves

L'organisation de crise de l'exploitant a été jusqu'à présent dimensionnée pour faire face à un événement concernant une seule unité du site, ainsi qu'aux événements d'origine externe de conception. Elle est régulièrement testée, et améliorée sur base de ces exercices. Cette organisation, pilotée en toutes circonstances par le site, s'appuie également sur des moyens et compétences disponibles auprès des autorités publiques ainsi qu'au niveau de l'entreprise (Corporate) et de Tractebel Engineering. Suite à l'accident de Fukushima, Electrabel a procédé à une évaluation de cette organisation pour faire face également à une situation allant très au-delà du domaine de conception, qui pourrait affecter simultanément plusieurs unités du site, ou qui pourrait rendre indisponible une partie de l'infrastructure de l'organisation de crise ou affecter les conditions d'accès et l'environnement.

Dans ce cadre, plusieurs actions ont été décidées ou sont à l'étude :

- le déplacement du Centre Opérationnel de Site (COS) vers un local situé au sous-sol du nouveau bâtiment des accès, résistant au séisme DBE et équipé de toute l'infrastructure requise a été décidé ;
- une étude de modification et de renforcement de l'organisation de crise sera lancée pour pouvoir fonctionner sur base de trois niveaux d'alerte : « Standard » (organisation actuelle), « Alerte » (renforcement préventif en cas d'événement prévisible, tel que l'inondation, pouvant affecter tout le site) et High (accident non prévisible affectant plus d'une unité du site). Pour ce niveau d'alerte, les équipes d'astreinte du site seraient renforcées, de manière à permettre la gestion technique de l'incident au niveau de chacune des unités affectées. L'organisation de crise existante au niveau de l'entreprise sera également revue et renforcée de manière à pouvoir assurer, dans un délai maximum de 24 heures, la prise en charge de tâches logistiques et techniques étendues, et la mobilisation de ressources pour la relève des équipes du site.
- une étude d'optimisation des moyens mobiles, ainsi que de leur infrastructure de stockage (site ou centralisé) sera réalisée, sur base également de l'analyse des EDMG.

De même, les scénarios d'accident grave ont été réexaminés pour identifier les actions susceptibles de réduire encore les rejets éventuels vers l'environnement en cas de situation extrême, dans une optique de défense en profondeur, même si la prévention reste privilégiée.

Dans ce cadre les actions suivantes seront initiées ou poursuivies :

- étude de faisabilité de l'installation d'un évent filtré sur chaque unité (cette étude est déjà en cours pour Tihange 1 dans le cadre du dossier de prolongation de la durée de vie) ;
- étude d'évaluation du risque résiduel de production et d'accumulation d'hydrogène dans les bâtiments des piscines ;
- suivi de la R&D relative à la problématique de l'interaction corium – béton.

7.3

Calendrier des actions

Le planning d'exécution des études identifiées et des modifications projetées doit encore être finalisé, après évaluation détaillée de son contenu et de ses implications, compte tenu des interactions avec d'autres projets d'étude et de réalisation en cours, des ressources internes et externes disponibles, des délais d'approvisionnement et de réalisation sur site.

Le tableau ci-dessous reprend pour chaque action qui y est indiquée, une échéance indicative de sa réalisation. Certaines actions seront terminées en 2012 (court terme).

Tableau 1 ↘
GNT – Synthèse des actions

Objectif	Actions	Paragraphes concernés	Planning indicatif	
1	Renforcement de la protection contre les agressions externes (séisme, inondation, conditions climatiques)	Reclassement des SSC du « low » en « medium » par calcul ou modification.	2.2.1.3.	2012-2013
		Examiner l'opportunité de renforcer le Bâtiment des Auxiliaires Électriques de Tihange 1.	2.2.1.3.	2012
		Révision de la crue de conception du site de Tihange (suite aux études de la Révision Périodique de Sécurité (sujet B4)).	3.1.1.3.	2012
		Accélération des actions décidées dans le cadre de la Révision Périodique de Sécurité (sujet B4): 1) Protection périphérique du site 2) Protection périmétrique locale 3) Renforcement des moyens non conventionnels	3.2.6.1. 5.1.3.5.	2014 2012-2013 2011-2012
		Conditions climatiques extrêmes: p.m.		
2	Renforcement des apports en électricité	Alimentation alternative (380 V) d'équipements non conventionnels et/ou de sécurité (compresseurs, pompes, vannes...), moyennant des tiroirs adaptés et câbles ou <i>via</i> des tableaux existants.	5.1.3.5. 3.2.6.1.	2012
		T1: étude de faisabilité concernant la réalimentation des pompes CTP et RRA par le SUR (repris dans les études de la révision du SUR du projet LTO).	5.1.2.5.	Cf. projet LTO
		Alimentation alternative (380 V) de redresseurs, moyennant des tiroirs adaptés et câbles ou <i>via</i> des tableaux existants.	5.1.3.5. 3.2.6.1.	2011-2012
		Prévoir une procédure pour minimiser la consommation de fuel des diesels de secours en arrêtant des équipements non essentiels.	5.1.1.4. 5.1.2.5.	2012

7 SYNTHÈSE ET PLAN D'ACTION

Objectif	Actions	Paragraphes concernés	Planning indicatif	
3	Renforcement des appoints en eau	T1 : étude de faisabilité concernant l'augmentation de l'autonomie de la bêche EAS (projet LTO).	5.1.3.5. 6.2.1.3.a.	Cf. projet LTO
		T1 : étude de faisabilité concernant l'ajout d'une pompe d'eau alimentaire de secours (projet LTO)	5.1.3.5. 6.2.1.3.a.	Cf. projet LTO
4	Optimisation de la conduite (procédures)	Modification de la procédure « Séisme » pour accélérer la détection d'une inondation induite sur le site	2.1.2.3.	2012
		Accélération du développement des procédures associées aux actions décidées dans le cadre de la Révision Périodique de Sécurité (sujet B4, relatif au sujet « inondation »).	3.2.6.2.	2012-2013
		Établissement d'une procédure qui décrit les actions à prendre en cas : - de perte totale des alimentations électriques externes et internes ; - de perte totale des sources froides.	5.1.3.5. 6.2.1.3.a et b 5.1.5.3.	2013
		Établissement de procédures pour l'alignement et la mise en service des alimentations électriques alternatives.	5.1.3.5.	2013
5	Renforcement de la gestion de crise (PIU)	Adaptation de l'organisation et de la logistique du « Plan Interne d'Urgence » pour intégrer les événements « multi-unités ». 1) description de la nouvelle organisation 2) implémentation de la nouvelle organisation	3.2.6.3. 5.1.4.3. 6.1.1.1.a	mi-2012 2013
		Création d'un « COS » dans le nouveau bâtiment des accès.	6.1.2.2.b	2013
6	Renforcement de la protection contre les accidents graves (SAM)	Préétude (choix d'une solution technique) de l'installation d'un évent filtré dans toutes les unités. (Pour T1, cette installation est prévue dans le cadre du projet LTO).	6.2.1.4.a 6.2.2.2.a et b 6.2.2.6.	2012
		Étude de la nécessité d'étendre les NCMs sur base de l'analyse des « EDMGs ».	6.1.1.3.	2013
		Évaluation du risque résiduel de production et d'accumulation d'H2 dans les bâtiments des piscines.	6.3.2.2. 6.2.1.3.d	2012
		Une étude de faisabilité pour la mise en œuvre d'un moyen supplémentaire d'injection d'eau vers le puits de cuve sera initiée.	6.2.3.f	2013
		Suivi de la R&D relative à la problématique interaction « corium-béton ».	6.2.1.4.a	continu
		Étude pour l'amélioration des mesures de niveau piscines sur toutes les unités.	5.1.3.5. 6.3.2.1. 3.2.6.1.	2012
7	Moyens dits « non conventionnels »	T3 : étude de faisabilité d'une solution technique pour assurer l'appoint au circuit primaire en configuration « CRP ouvert » (motopompe appoint primaire alimenté par un Diesel NCM).	5.1.3.5. 3.2.6.1. 6.2.1.3.	2012



Éditeur responsable: Electrabel, Groupe GDF SUEZ
Boulevard Simon Bolivar 34
B-1000 Bruxelles
www.electrabel.be



Conception et réalisation:  SPÉCIFIQUE
9, passage Sainte-Avoye 75003 Paris.
Spécifique est une société du groupe  NEXT
LAB
www.specifique.com
Infographies: Yuvanoé

