

BELGIAN STRESS TESTS

AFCN 

agence fédérale de contrôle nucléaire

Tests de résistance belges
Rapport national pour
les centrales nucléaires



23 décembre 2011

Tests de résistance belges

Rapport national pour les centrales nucléaires

Ce rapport national est fourni par l'Autorité de sûreté belge à la Commission européenne dans le cadre du programme de tests de résistance appliqué aux centrales nucléaires européennes suite à l'accident de Fukushima-Daiichi.

Avertissement

Ce rapport est une traduction en français de la version officielle en anglais du « National report for nuclear power plants ». En cas de discordance entre les deux versions, seule la version en anglais fait foi.

Révision	Date de révision	Description de la modification	Auteur
0	2011-12-23	Première édition	AFCN-Bel V

Introduction

La Belgique s'est toujours érigée en pionnière dans le développement des sciences et des technologies nucléaires à des fins pacifiques. A ce titre, le pays compte sept réacteurs à eau pressurisée actuellement exploités sur deux sites distincts :

- Le site de Doel, implanté sur les rives de l'Escaut à proximité d'Anvers (Flandre), regroupe quatre réacteurs :
 - Doel 1/2 : unités jumelées de 433 MWe chacune, mises en service en 1975,
 - Doel 3 : unité de 1 006 MWe, mise en service en 1982,
 - Doel 4 : unité de 1 039 MWe, mise en service en 1985.

- Le site de Tihange, implanté sur les rives de la Meuse près de Liège (Wallonie), regroupe trois réacteurs :
 - Tihange 1 : unité de 962 MWe, mise en service en 1975,
 - Tihange 2 : unité de 1 008 MWe, mise en service en 1983,
 - Tihange 3 : unité de 1 054 MWe, mise en service en 1985.

Les deux sites sont tous deux exploités par ELECTRABEL, une société du Groupe d'énergie et de services GDF-SUEZ.

Pour tout ce qui a trait à la sûreté nucléaire, les activités de l'exploitant sont contrôlées par l'Autorité de sûreté belge¹ composée de :

- L'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (AFCN),
- Bel V, sa filiale technique.

Les caractéristiques actuelles des centrales nucléaires exploitées en Belgique découlent :

- de la base de conception de chaque unité,
- des modifications apportées par la suite au cours de la vie des installations.

Lors de la phase de conception, les centrales furent dimensionnées de manière à satisfaire aux exigences de sûreté, de fiabilité et de disponibilité en vigueur à l'époque et de manière à résister à des scénarios d'accidents prédéfinis. Les règles de conception utilisées incluaient des marges de sécurité (postulats conservatifs dans les modèles, coefficients de sécurité dans les calculs, hypothèses pénalisantes dans les scénarios d'accidents, etc.).

Les règles de conception en vigueur à un moment précis prennent en compte les connaissances scientifiques les plus récentes (exemple : évaluation du risque sismique dans une région donnée), les techniques disponibles (exemple : précontrainte du béton), ainsi que les meilleures pratiques généralement appliquées dans le domaine considéré (exemple : utilisation d'une double enceinte de confinement). Ces règles de conception ont évolué au fil du temps et les unités actuellement exploitées en Belgique présentent donc certaines différences en fonction de leur date de mise en service.

Dans certains cas, des risques spécifiques n'ont pas été pris en considération à la conception, soit parce que la menace n'était à cette époque pas considérée comme plausible (exemple : chute d'avion terroriste), soit parce que la probabilité annuelle d'être confronté à un accident entraînant des conséquences inacceptables était négligeable (exemple : tornade). Cette remarque s'applique tout particulièrement pour les premières unités (Doel 1/2 et Tihange 1). Dans ces cas spécifiques, la résistance des unités a fait l'objet d'une réévaluation a posteriori afin de déterminer les sollicitations

¹ De plus amples informations sur l'Autorité de sûreté et sur les installations nucléaires sont disponibles sur le site web de l'AFCN (<http://www.fanc.fgov.be>), notamment dans le rapport 2010 établi dans le cadre de la Convention sur la sûreté nucléaire.

maximales admissibles et de déterminer les actions correctives adaptées à mettre en œuvre en cas de besoin.

Certaines modifications ont donc été mises en œuvre au cours de la vie des installations, afin d'apporter les améliorations nécessaires selon les dernières connaissances et les technologies disponibles, ainsi que les règles de l'art du moment. Ces améliorations prennent en compte le retour d'expérience relatif aux accidents survenus à l'étranger (Three Mile Island, Tchernobyl), et l'évolution de la doctrine au niveau national (réglementation fédérale) et international (normes et guides de l'Agence internationale de l'Energie atomique, règles de l'American Nuclear Regulatory Commission...). Ces améliorations sont mises en application dans le cadre des révisions périodiques (décennales) de sûreté ou à travers des plans d'actions spécifiques appliqués spontanément par l'exploitant ou à la demande de l'Autorité de sûreté.

Les principes de base de la sûreté, tels que la défense en profondeur, la redondance des équipements de sûreté, leur séparation physique ou géographique et leur diversification, ont été appliqués dès la phase de conception et des mises à niveau ont été effectuées sur les premières unités pour renforcer leur robustesse en cas de scénarios qui n'auraient pas encore été considérés. Certains renforcements de structure ont également eu lieu lorsqu'ils s'avéraient nécessaires.

Toutes les unités disposent à présent :

- de systèmes de sûreté (premier niveau de protection) visant à faire face aux risques internes et externes qui pourraient menacer les installations ;
- de systèmes de secours (second niveau de protection) dont l'objectif est de compenser la perte des équipements de premier niveau, par exemple suite à des agressions qui n'avaient pas été prises en considération lors de la conception du premier niveau de protection ;
- de sources d'alimentation électrique multiples : lignes à haute tension reliées au réseau externe, auto-alimentation en cas d'îlotage, générateurs diesel de secours, ensembles batteries/onduleurs ;
- de sources froides multiples, avec plusieurs moyens de pompage d'eau : eau du fleuve bordant le site (l'Escaut pour Doel et la Meuse pour Tihange), étangs artificiels (Doel) et puits en nappe phréatique (Tihange) ;
- de plans d'urgence internes coordonnés avec les plans d'urgence des pouvoirs publics : centres opérationnels de secours, instruments de diagnostic, procédures d'urgence...

Ces moyens permettent de faire face à des scénarios d'accidents considérés individuellement.

Toutefois, l'accident survenu le 11 mars 2011 à la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi au Japon a montré que la conjonction de plusieurs événements (tremblement de terre, tsunami, inondation, explosion d'hydrogène) pouvait engendrer des conditions particulièrement défavorables auxquelles les installations et l'exploitant n'étaient pas suffisamment préparés : rupture de l'enceinte, perte totale de l'alimentation électrique, perte totale du refroidissement, accès difficile au site, etc. Le fait que plusieurs unités d'un même site furent affectées simultanément constitua également un facteur aggravant au niveau de la gestion de l'accident.

En conséquence, les Etats membres de l'Union européenne ont mis sur pied un vaste programme de réévaluation de la sûreté des centrales nucléaires implantées sur leur territoire. Ce programme de tests de résistance (« tests de résistance ») a pour but de réévaluer (sur base d'études techniques, de calculs et de jugements d'experts) les marges de sûreté dont disposent les centrales nucléaires européennes en cas d'événements naturels extrêmes, et de mettre en œuvre les actions adéquates en cas de besoin. Cette approche se veut essentiellement déterministe et elle ne doit pas uniquement se concentrer sur les mesures préventives, mais également sur les mesures d'atténuation des conséquences.

Le champ des tests de résistance belges couvre les sept réacteurs exploités par Electrabel, y compris les piscines de désactivation de chaque unité et les installations d'entreposage du combustible utilisé sur les deux sites, à savoir :

- le bâtiment « SCG » à Doel (stockage à sec des assemblages de combustible utilisé en conteneurs blindés),
- le bâtiment « DE » à Tihange (installation de stockage sous eau du combustible utilisé).

Conformément à la méthodologie européenne, les tests de résistance des centrales nucléaires se déroulent en trois phases :

1. L'exploitant réalise les tests de résistance dans ses installations et il transmet un rapport final à l'Autorité de sûreté belge. Dans ce rapport, l'exploitant décrit la réaction des installations confrontées à divers scénarios extrêmes et indique, au besoin, les améliorations qui peuvent être apportées pour renforcer la sûreté.
2. L'Autorité de sûreté examine le rapport de l'exploitant et il en évalue l'approche et les résultats. Sur base de ces données, l'Autorité de sûreté rédige son propre rapport national.
3. Le rapport de toutes les Autorités de sûreté nationales fait l'objet d'un examen par des pairs au niveau international : les rapports nationaux sont étudiés par d'autres Autorités de sûreté représentant les 27 Autorités nationales européennes indépendantes compétentes en matière de sûreté nucléaire dans leur pays. Cette méthode renforce la cohérence tout au long du processus et assure le partage d'expérience entre les différentes Autorités de sûreté.

A partir de là, la Commission européenne rédigera un rapport final qu'elle présentera au Conseil européen pour lui présenter une vue globale de la situation actuelle au sein des centrales nucléaires européennes.

La première phase des tests de résistance belges des centrales nucléaires a été menée par l'exploitant sur une courte période de temps jusqu'au 28 octobre 2011 (communication des rapports de l'exploitant à l'Autorité de sûreté). Cette phase a mobilisé une quarantaine d'ingénieurs et d'experts d'Electrabel et de sa filiale technique Tractebel Engineering, ainsi que plusieurs ressources externes spécialisées dans des domaines spécifiques (risques sismiques, inondations...).

L'AFCN et sa filiale technique Bel V, dont les experts connaissent parfaitement les installations examinées, ont ensuite réalisé la deuxième phase du programme. L'évaluation de l'approche et des résultats fournis par l'exploitant a inclus un examen détaillé des rapports remis par l'exploitant et des documents de référence, des réunions techniques avec l'exploitant et des inspections sur site destinées à vérifier sur place la réalité, la pertinence et la robustesse des données clés utilisées dans les démonstrations de sûreté de l'exploitant. Ce processus a débouché sur la publication du présent rapport national.

Comme l'exigent les spécifications de l'ENSREG, le rapport national belge pour les centrales nucléaires couvre les risques suivants :

- séisme,
- inondations,
- conditions météorologiques extrêmes,
- perte d'alimentation électrique et perte de source froide,
- gestion d'accidents graves.

A la demande du gouvernement fédéral belge, les attentats terroristes (chute d'avion) et autres événements d'origine humaine (cyber-attaque, gaz toxiques et explosifs, ondes de choc) ont également été inclus dans le programme des tests de résistance belges en tant qu'événements initiateurs potentiels. Comme ces événements d'origine humaine ne faisaient toutefois pas partie du programme des tests de résistance européens, ils ont été développés dans un rapport national séparé qui ne sera pas soumis à l'examen par les pairs au niveau international.

Afin de fournir un rapport national autoportant en vue du processus d'examen par les pairs, les informations pertinentes fournies par l'exploitant dans ses rapports sur les tests de résistance ont été rappelées dans chaque chapitre.

A la fin de chaque chapitre, un paragraphe final présente l'évaluation et les conclusions de l'Autorité de sûreté belge (AFCN et Bel V).

Dans le cadre de la politique de transparence des pouvoirs publics, ce rapport national est mis à la disposition du public et des médias sur le site web de l'Autorité de sûreté belge (<http://www.fanc.fgov.be>).

Table des matières

Introduction	3
Table des matières	7
Table des illustrations	9
1. Description générale	10
1.1. Caractéristiques des sites	10
1.1.1. Principales caractéristiques des unités	11
1.2. Différences significatives entre les unités	14
1.2.1. Site de Doel	14
1.2.2. Site de Tihange	17
1.3. Utilisation des évaluations probabilistes de sûreté dans le cadre de l'évaluation de sûreté	20
1.4. Liste des acronymes	21
2. Séisme	27
2.1. Base de conception	27
2.1.1. Séisme contre lequel les centrales sont conçues	27
2.1.2. Dispositions visant à protéger les centrales contre le séisme de conception	31
2.1.3. Conformité des centrales avec leur autorisation actuelle	40
2.2. Évaluation des marges de sûreté	42
2.2.1. Niveaux de séismes menant à des dommages graves du combustible - Description de la méthodologie SMR	42
2.2.2. Intensité sismique conduisant à la perte d'intégrité du confinement	50
2.2.3. Séisme excédant le séisme de conception des centrales et inondation résultante excédant l'inondation de conception	52
2.3. Synthèse des principaux résultats présentés par l'exploitant	55
2.4. Evaluation et conclusions de l'Autorité de sûreté	57
3. Inondation	58
3.1. Bases de conception	58
3.1.1. Crue contre laquelle les centrales sont conçues	58
3.1.2. Dispositions pour protéger les centrales contre la crue de conception	60
3.1.3. Conformité des centrales avec leur autorisation actuelle	64
3.2. Evaluation des marges de sûreté	66
3.2.1. Estimation de la marge de sûreté contre l'inondation	66
3.2.2. Mesures pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse contre l'inondation.	73
3.3. Synthèse des principaux résultats présentés par l'exploitant	77
3.3.1. Centrale nucléaire de Tihange	77
3.3.2. Centrale nucléaire de Doel	79
3.4. Evaluation et conclusions de l'Autorité de sûreté	80
3.4.1. Centrale nucléaire de Tihange	80
3.4.2. Centrale nucléaire de Doel	81
4. Conditions météorologiques extrêmes	82
4.1. Fortes pluies	82
4.1.1. Réévaluation des précipitations prises en compte à la conception	82
4.1.2. Evaluation des marges de sûreté contre les fortes pluies	84
4.1.3. Mesures pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse contre les fortes pluies ..	85
4.2. Vents violents	86
4.2.1. Réévaluation des vents violents pris en compte à la conception	86
4.2.2. Evaluation des marges de sûreté contre les vents violents	86
4.2.3. Mesures pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse contre les vents forts	87
4.3. Tornades	88
4.3.1. Réévaluation des tornades prises en compte à la conception	88
4.3.2. Evaluation des marges de sûreté contre les tornades	89
4.3.3. Mesures pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse contre les tornades	91
4.4. Foudre	93
4.4.1. Réévaluation de la foudre prise en compte à la conception	93
4.4.2. Evaluation des marges de sûreté contre la foudre	93
4.4.3. Mesures pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse contre la foudre	93
4.5. Chutes de neige	94
4.5.1. Réévaluation des chutes de neige prises en compte à la conception	94

4.5.2. Evaluation des marges de sûreté contre les chutes de neige.....	94
4.5.3. Mesures pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse contre les chutes de neige	95
4.6. Grêle.....	96
4.7. Autres conditions climatiques extrêmes.....	97
4.8. Synthèse des principaux résultats présentés par l'exploitant.....	98
4.9. Evaluation et conclusions de l'Autorité de sûreté.....	100
5. Perte des alimentations électriques et perte de la source froide.....	101
5.1. Perte de courant électrique.....	102
5.1.1. Perte des alimentations externes (LOOP).....	105
5.1.2. Perte des alimentations électriques externes (LOOP) et perte des alimentations internes de secours de premier niveau (station black-out).....	109
5.1.3. Perte des alimentations électriques externes (LOOP) et perte de toutes les alimentations électriques de secours sur site (station black-out total).....	116
5.2. Perte de la source froide.....	123
5.2.1. Perte de la source froide principale (LUHS).....	123
5.2.2. Perte des sources froides principale et alternative(s).....	132
5.3. Perte de la source froide principale, des alimentations électriques externes et de l'alimentation électrique interne de secours de premier niveau.....	142
5.3.1. Autonomie du site avant endommagement du combustible.....	142
5.3.2. Actions (externes) prévues pour prévenir l'endommagement du combustible.....	144
5.3.3. Dispositions pouvant être envisagées pour améliorer la robustesse des installations.....	144
5.4. Perte de la source froide principale combinée à un station black-out total.....	145
5.5. Perte de la source froide principale combinée à la perte des alimentations électriques externes et à un séisme DBE.....	146
5.5.1. Autonomie du site avant endommagement du combustible.....	146
5.5.2. Actions (externes) prévues pour prévenir l'endommagement du combustible.....	148
5.6. Entreposage de combustible nucléaire usé.....	150
5.7. Synthèse des principaux résultats présentés par l'exploitant.....	151
5.7.1. Scénario « Perte des alimentations électriques externes (LOOP) ».....	153
5.7.2. Scénario « Station Black-Out (SBO) ».....	153
5.7.3. Scénario « SBO total ».....	154
5.7.4. Scénario « Perte de la source froide principale ».....	154
5.7.5. Scénario « Perte des sources froides principale et alternatives ».....	155
5.7.6. Scénario « Perte de la source froide principale avec SBO ».....	155
5.7.7. Scénario « Perte de la source froide principale avec SBO total ».....	156
5.7.8. Scénario « Perte de la source froide principale, LOOP et séisme DBE ».....	156
5.7.9. Piscines de désactivation.....	156
5.8. Evaluation et conclusions de l'Autorité de sûreté.....	157
6. Gestion des accidents graves.....	159
6.1. Organisation et dispositions prises par l'exploitant pour gérer les accidents.....	159
6.1.1. Organisation de l'exploitant pour gérer l'accident.....	159
6.1.2. Possibilité d'utiliser les équipements existants.....	165
6.1.3. Évaluation des facteurs pouvant perturber la gestion de l'accident et imprévus associés.....	170
6.2. Perte de refroidissement du cœur : mesures de gestion des accidents en place aux différents stades d'un scénario de perte de la fonction de refroidissement du cœur.....	177
6.2.1. Avant endommagement du combustible dans la cuve du réacteur.....	177
6.2.2. Après endommagement du combustible dans la cuve du réacteur.....	178
6.2.3. Après rupture de la cuve.....	179
6.2.4. Effets falaises et timing.....	180
6.2.5. Adéquation de la gestion d'accident actuelle et mesures additionnelles possibles.....	184
6.3. Mesures de gestion d'accident pour maintenir l'intégrité de l'enceinte après endommagement du cœur.....	189
6.3.1. Gestion des risques d'hydrogène dans l'enceinte.....	189
6.3.2. Prévention d'une surpression de l'enceinte de confinement.....	189
6.3.3. Prévention du retour en criticité.....	190
6.3.4. Prévention du percement du radier.....	191
6.3.5. Besoins et fourniture de courant électrique alternatif et continu et d'air comprimé aux équipements utilisés pour préserver l'intégrité du confinement.....	192

6.3.6. Effets falaises et timing	193
6.3.7. Mesures actuelles de gestion des accidents pour revenir à un état stable et contrôlé.....	196
6.3.8. Aperçu des stratégies de gestion d'accident et moyens mis en œuvre.....	196
6.4. Mesures de gestion d'accident destinées à réduire les rejets radioactifs	200
6.4.1. Limitation des conséquences des rejets de produits de fission.....	200
6.4.2. Injection d'eau dans les générateurs de vapeur pour piéger les produits de fission s'échappant de tubes de générateurs de vapeur endommagés.....	200
6.4.3. Injection d'eau dans le circuit primaire pour piéger les produits de fission relâchés par les débris du cœur	200
6.4.4. Injection d'eau dans l'enceinte de confinement	201
6.4.5. Surveillance des conditions de l'enceinte de confinement	201
6.4.6. Injection d'eau dans le puits de cuve	201
6.5. Mesures de gestion d'accident en cas de perte du refroidissement des piscines de combustible usé.....	202
6.5.1. Mesures de gestion d'accident actuelles	202
6.5.2. Effets falaises et timing	203
6.5.3. Instrumentation nécessaire pour surveiller le combustible et pour gérer l'accident	206
6.5.4. Accumulation d'hydrogène.....	207
6.5.5. Adéquation des mesures de gestion actuelles et dispositions additionnelles possibles	207
6.5.6. Retour à un état stable et contrôlé	208
6.6. Synthèse des principaux résultats présentés par l'exploitant	209
6.7. Evaluation et conclusions de l'Autorité de sûreté	210
7. Conclusions générales.....	212
7.1. Principaux résultats et améliorations proposées par l'exploitant sur le plan de la sûreté	212
7.1.1. Séismes.....	212
7.1.2. Inondations	213
7.1.3. Conditions météorologiques extrêmes	214
7.1.4. Perte des alimentations électriques ou des sources froides	214
7.1.5. Organisation de crise et gestion des accidents graves	215
7.1.6. Plan d'action	216
7.2. Synthèse de l'évaluation et améliorations supplémentaires demandées par l'Autorité de sûreté	219
7.2.1. Séisme	220
7.2.2. Inondation.....	220
7.2.3. Conditions météorologiques extrêmes	221
7.2.4. Perte des alimentations électriques et perte des sources froides.....	222
7.2.5. Gestion des accidents graves	223

Table des illustrations

Figure 1 : Sites des centrales nucléaires en Belgique	10
Figure 2 : Installations sur le site de Doel	10
Figure 3 : Installations sur le site de Tihange	11
Figure 4 : Double enceinte des bâtiments réacteurs de Doel 3 et Doel 4.....	12
Figure 5 : Comparaison des spectres de conception des trois unités de	30
Figure 6 : Spectre au niveau du sol basé sur l'étude ORB.....	31
Figure 7 : Classification des SSC en catégorie High, Medium, et Low	44
Figure 8 : Comparaison entre le spectre RLE et le spectre DBE de Tihange	45
Figure 9 : Comparaison entre le spectre RLE et le spectre DBE de Doel	46
Figure 10 : Les différentes zones altimétriques du site de Tihange.....	61
Figure 11 : Dispositions de conception à la centrale nucléaire de Doel contre la crue DBF (coupe transversale de la digue).....	61
Figure 12 : Exemple de crue décennale et proposition de protection périphérique du site	74
Figure 13 : Plan des alimentations électriques à Tihange 2 et Tihange 3.....	103
Figure 14 : Plan des alimentations électriques à Doel 3 et Doel 4.....	104
Figure 15 : Plan des sources froides à Tihange	123
Figure 16 : Plan des sources froides à Doel	124

1. Description générale

1.1. Caractéristiques des sites

Les centrales nucléaires belges sont situées sur deux sites géographiquement distincts : Doel et Tihange. Elles sont exploitées par ELECTRABEL, une société du Groupe d'énergie et de services GDF-SUEZ.



Figure 1 : Sites des centrales nucléaires en Belgique

Centrale nucléaire de Doel

La centrale nucléaire de Doel est située dans le Port d'Anvers sur la rive gauche de l'Escaut, 15 km au Nord-Ouest d'Anvers (Flandre) et à 3 km seulement de la frontière belgo-néerlandaise.

Le site abrite les installations suivantes :

- les réacteurs jumelés de Doel 1/2 (A),
- le réacteur de Doel 3 (B),
- le réacteur de Doel 4 (C),
- le bâtiment SCG (entreposage à sec du combustible usé) (D).

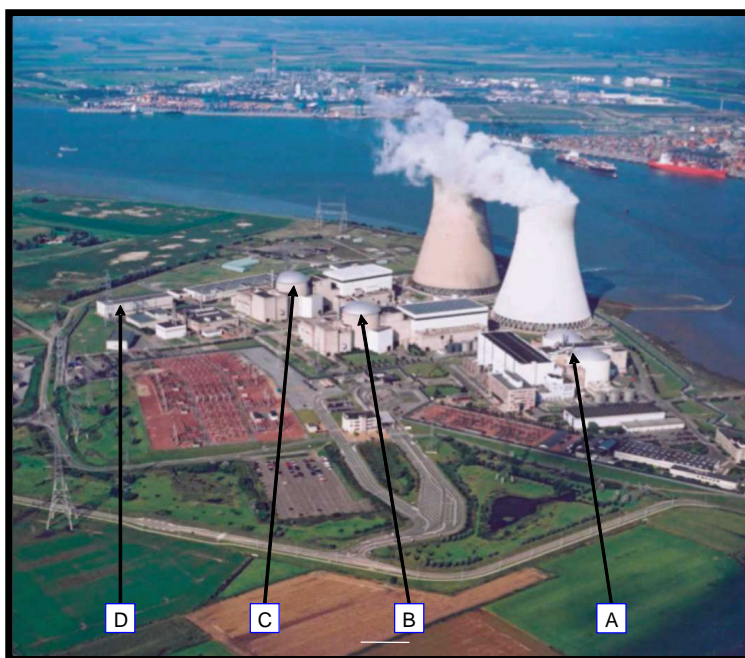


Figure 2 : Installations sur le site de Doel

Centrale nucléaire de Tihange

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

Le site abrite les installations suivantes :

- le réacteur de Tihange 1 (A),
- le réacteur de Tihange 2 (B),
- le réacteur de Tihange 3 (C),
- le bâtiment DE (stockage sous eau du combustible usé) (D).



Figure 3 : Installations sur le site de Tihange

1.1.1. Principales caractéristiques des unités

1.1.1.1. Centrale nucléaire de Doel

Les principales caractéristiques des installations du site de Doel sont reprises dans le tableau ci-après :

Tableau 1 : Caractéristiques des unités du site de Doel

Unités	Type	Puissance thermique (MWth)	Date de première divergence	Caractéristiques de l'enceinte	Remplacement des générateurs de vapeur	Capacité de la piscine de combustible	Concepteur
Doel 1	PWR (2 boucles)	1 312	1974	Double enceinte (béton et métal)	2009	664 alvéoles	Westinghouse
Doel 2	PWR (2 boucles)	1 312	1975	Double enceinte (béton et métal)	2004		Westinghouse
Doel 3	PWR (3 boucles)	3 064	1982	Double enceinte avec peau d'étanchéité métallique interne	1993	672 alvéoles	Framatome
Doel 4	PWR (3 boucles)	3 000	1985	Double enceinte avec peau d'étanchéité métallique interne	1997	628 alvéoles	Westinghouse
Bâtiment SCG	Stockage à sec du combustible usé	-	-	-	-	165 conteneurs de combustible usé	Tractebel Engineering

Les quatre bâtiments du réacteur à Doel sont munis d'une double enceinte.

Sur les unités Doel 1/2, l'enceinte primaire (intérieure) est une coupole métallique. L'enceinte secondaire (extérieure) consiste en un cylindre en béton armé sur lequel est placé un dôme en béton armé de forme hémisphérique. L'enceinte secondaire englobe l'enceinte primaire et la protège ainsi contre les accidents.

A Doel 3 et Doel 4, l'enceinte primaire consiste en un cylindre surmonté d'un dôme de forme sphérique. Les deux structures sont en béton précontraint. Cette enceinte est recouverte sur sa face interne d'une peau métallique garantissant son étanchéité à l'air. L'enceinte secondaire des unités Doel 3 et Doel 4 est également une structure en béton armé qui entoure l'enceinte primaire et la protège ainsi contre les accidents externes.

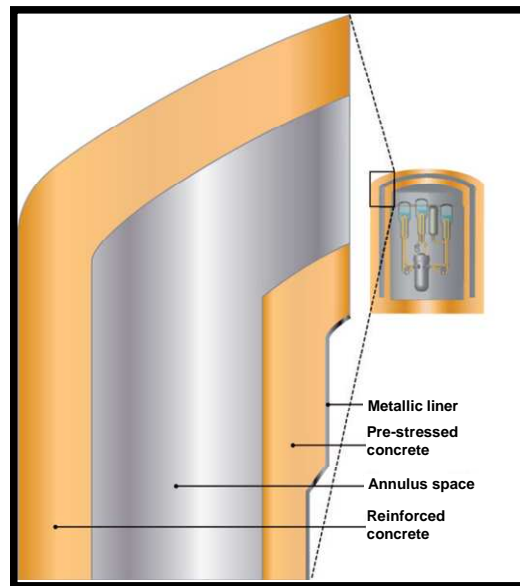


Figure 4 : Double enceinte des bâtiments réacteurs de Doel 3 et Doel 4

Le combustible nucléaire utilisé des unités Doel 1/2 est stocké dans des piscines communes situées dans le bâtiment des services nucléaires (GNH).

Le combustible nucléaire utilisé des unités de Doel 3 et Doel 4 est entreposé dans des piscines sur chaque unité. Les piscines et leurs systèmes de refroidissement sont abrités dans le bâtiment du combustible nucléaire bunkerisé (SPG).

Lorsque le combustible utilisé en provenance des quatre unités a refroidi suffisamment longtemps en piscine, il est transféré vers le bâtiment des conteneurs de combustible utilisé (SCG). Ce bâtiment en béton armé sert à entreposer à sec le combustible utilisé dans des conteneurs blindés et sous gaz inerte. La chaleur résiduelle s'évacue par convection naturelle. Les conteneurs sont conçus pour résister à des accidents graves (chute d'avion, incendie et tremblement de terre).

1.1.1.2. Centrale nucléaire de Tihange

Les principales caractéristiques des unités du site de Tihange sont reprises dans le tableau ci-après :

Tableau 2 : Caractéristiques des unités du site de Tihange

Unités	Type	Puissance thermique (MWth)	Date de première divergence	Caractéristiques de l'enceinte	Remplacement des générateurs de vapeur	Capacité de la piscine de combustible	Concepteur
Tihange 1	PWR (3 boucles)	2 873	1975	Double enceinte avec peau d'étanchéité métallique interne	1995	324 alvéoles + 49 alvéoles amovibles	Framatome / Westinghouse
Tihange 2	PWR (3 boucles)	3 054	1982	Double enceinte avec peau d'étanchéité métallique interne	2001	700 alvéoles	Framatome
Tihange 3	PWR (3 boucles)	2 988	1985	Double enceinte avec peau d'étanchéité métallique interne	1998	820 alvéoles	Westinghouse
Bâtiment DE	Stockage humide du combustible usé	-	-	Bâtiment bunkerisé	-	3 720 alvéoles + 30 alvéoles pour entreposage temporaire	Tractebel Engineering

Chacun des trois réacteurs dispose d'une piscine de refroidissement destinée à l'entreposage temporaire des assemblages de combustible usé. Après au moins deux ans en piscine de désactivation sur les unités, les assemblages de combustible sont transférés vers le bâtiment DE qui contient huit piscines disposant d'une capacité de 465 assemblages chacune. L'alimentation électrique de ce bâtiment est fournie par l'unité Tihange 3.

Les systèmes et composants de sûreté du bâtiment DE ont été conçus pour résister aux effets d'événements naturels, de séismes et d'accidents d'origine externe (chute d'avion, explosion) sans perdre leurs fonctions de sûreté.

Les bâtiments réacteurs des trois unités du site de Tihange sont munis d'une double enceinte de confinement. L'enceinte intérieure est en béton armé précontraint et munie d'une peau d'étanchéité métallique tandis que l'enceinte extérieure est en béton armé.

1.2. Différences significatives entre les unités

1.2.1. Site de Doel

Si l'on considère les événements qui ont été pris en compte à la conception des différentes unités, il existe des différences entre les unités Doel 1/2 et les unités Doel 3 et Doel 4 :

- les réacteurs jumelés de Doel 1/2 partagent une série de systèmes communs,
- les systèmes de sûreté redondants sont physiquement indépendants les uns des autres à Doel 3 et Doel 4,
- lors de la conception initiale de Doel 3 et Doel 4, les risques internes et externes suivants ont été considérés :
 - la chute d'avion,
 - l'incendie de grande ampleur,
 - les explosions, y compris l'explosion de gaz,
 - les actes de malveillance,
 - les accidents conduisant à l'inaccessibilité ou l'indisponibilité de la salle de commande.

Ces accidents ou événements ont été pris en considération dans le cadre des révisions décennales de sûreté et ont conduit, pour les unités Doel 1/2, à la mise en œuvre de systèmes de sûreté spécifiques, tels que le bâtiment des systèmes d'ultime secours (GNS), qui est qualifié au séisme.

Toutes les unités de Doel disposent de deux niveaux de protection : les systèmes de secours du premier niveau de protection sont destinés à protéger l'unité contre les incidents et accidents d'origine interne (exemples : perte de l'inventaire en eau du circuit primaire ou rupture de conduite secondaire) et les tremblements de terre, tandis que les systèmes d'ultime secours du second niveau de protection sont dédiés aux agressions d'origine externe.

Les systèmes du premier niveau sont commandés depuis la salle de commande principale, ceux du second niveau le sont depuis une salle de commande séparée.

Le premier niveau et le second niveau sont totalement indépendants l'un de l'autre. Cette remarque vaut pour les groupes électrogènes diesels, les salles de commandes, les alimentations en eau, l'instrumentation, l'air comprimé, l'injection d'eau aux joints des pompes primaires, l'eau alimentaire des générateurs de vapeur, les systèmes de refroidissement à l'arrêt...

Le tableau suivant énumère les spécificités des systèmes de secours de premier niveau sur les unités Doel 1/2, d'une part, et Doel 3 et Doel 4, d'autre part.

Tableau 3 : Systèmes de secours de premier niveau sur les unités de Doel

Systèmes de secours (premier niveau)	Doel 1/2	Doel 3 et Doel 4
Séparation physique	<ul style="list-style-type: none"> • Les systèmes du premier niveau ne sont pas tous physiquement séparés, mais tous ont été testés quant à leur interaction mutuelle (par exemple rupture d'une tuyauterie à haute énergie) pour s'assurer qu'un accident interne n'aurait pas d'impact sur ces systèmes • Les accidents susceptibles de causer l'indisponibilité de plusieurs systèmes de sûreté sont couverts par le GNS (bâtiment abritant les systèmes de second niveau), qui est physiquement séparé 	<ul style="list-style-type: none"> • Les systèmes du premier niveau sont en principe physiquement indépendants
Conception sismique	<ul style="list-style-type: none"> • Les systèmes du premier niveau n'ont pas tous été conçus pour résister au séisme de référence (DBE), mais tous les systèmes vitaux qui doivent fonctionner après un séisme DBE ont été conçus pour résister à ce séisme DBE • Les fonctions qui ne sont pas garanties sont reprises par le second niveau (GNS) 	<ul style="list-style-type: none"> • Les systèmes du premier niveau sont en principe conçus pour résister au séisme de référence DBE

Systèmes de secours (premier niveau)	Doel 1/2	Doel 3 et Doel 4
Conception des trains	<ul style="list-style-type: none"> Les systèmes du premier niveau relatifs à l'alimentation électrique et à l'instrumentation sont en principe conçus par train et ces trains sont mécaniquement liés les uns aux autres 	<ul style="list-style-type: none"> Les systèmes du premier niveau sont en principe conçus par train et ces trains ne sont pas liés
Systèmes partagés	<ul style="list-style-type: none"> Beaucoup de systèmes du premier niveau sont partagés par les deux unités Le degré de capacité/redondance de ces systèmes est suffisant pour les deux unités 	<ul style="list-style-type: none"> Pour les systèmes du premier niveau des unités Doel 3 et Doel 4, un diesel de réserve partagé par les deux unités a été ajouté aux diesels de secours déjà en place
Injection de sécurité (SI) haute pression	<ul style="list-style-type: none"> 4 pompes d'injection haute pression partagées par les deux unités 4 voies d'injection par unité : 2 voies d'injection sur la branche froide et 2 voies d'injection sur la partie supérieure de la cuve 2 réservoirs d'injection de sécurité pour l'injection de sécurité haute et basse pression (1 réservoir par unité) 2 accumulateurs par unité (1 sur chaque branche froide) 3 pompes d'injection basse pression par unité Les mêmes pompes assurent la fonction de refroidissement du réacteur à l'arrêt 	<ul style="list-style-type: none"> 3 trains indépendants équipés de : <ul style="list-style-type: none"> 3 pompes d'injection haute pression, 6 voies d'injection par unité : 2 par train, 1 sur chaque branche chaude et 1 sur chaque branche froide 3 réservoirs d'injection de sécurité pour l'injection de sécurité haute et basse pression (1 réservoir par train) 3 accumulateurs par unité (1 sur chaque branche froide) 3 pompes d'injection basse pression (indépendantes)
Circuit d'aspersion d'enceinte (SP)	<ul style="list-style-type: none"> 4 pompes d'aspersion communes (pour injection directe) Aspersion possible par le circuit d'injection basse pression (pendant la recirculation) 	<ul style="list-style-type: none"> 3 trains indépendants avec trois pompes d'aspersion
Refroidissement du réacteur à l'arrêt (SC)	<ul style="list-style-type: none"> 3 pompes physiquement séparées et alimentées indépendamment par unité, qui assurant également la fonction d'injection basse pression 2 échangeurs de chaleur physiquement séparés par unité avec possibilité d'interconnexion à chacune des trois pompes 	<ul style="list-style-type: none"> 3 trains indépendants avec : <ul style="list-style-type: none"> 3 pompes de refroidissement du réacteur à l'arrêt, 3 échangeurs de chaleur par unité pour le refroidissement du réacteur à l'arrêt, assurant également la fonction d'évacuation de la chaleur pendant la phase de recirculation
Circuit de refroidissement des composants (CC)	<ul style="list-style-type: none"> Circuit partagé pour le refroidissement des composants, composé de quatre pompes et de quatre échangeurs de chaleur, répartis en deux groupes 	<ul style="list-style-type: none"> 3 trains indépendants avec 3 circuits de refroidissement parallèles et identiques, chacun disposant de sa propre pompe et de son propre échangeur de chaleur
Alimentation électrique et instrumentation	<ul style="list-style-type: none"> 4 polarités électriques indépendantes (2 par unité). Les fonctions de sûreté disposant de 3 équipements utilisent la polarité de l'autre unité. En cas d'indisponibilité d'un diesel, un des diesels de l'autre unité assure automatiquement cette polarité afin de garantir un maximum d'indépendance entre les polarités. Il y a une séparation physique partielle des câblages d'alimentation électrique et d'instrumentation 	<ul style="list-style-type: none"> 3 polarités électriques indépendantes, physiquement séparées (1 par train) Chaque train est équipé de sa propre instrumentation qui est physiquement séparée des autres trains Une reprise manuelle est également possible par le diesel de réserve en cas de défaillance d'un diesel de premier niveau
Circuit d'extinction d'incendie (FE)	<ul style="list-style-type: none"> 2 pompes : 1 pompe électrique et 1 motopompe diesel Conception non sismique, à l'exception de l'apport d'eau alimentaire de second niveau 	<ul style="list-style-type: none"> 3 trains indépendants pourvus de pompes parasismiques alimentées électriquement par les diesels de second niveau

Systèmes de secours (premier niveau)	Doel 1/2	Doel 3 et Doel 4
Eau alimentaire auxiliaire pour les générateurs de vapeur (AF)	<ul style="list-style-type: none"> • 3 pompes : 1 turbopompe et 2 motopompes • La quantité d'eau alimentaire auxiliaire est suffisante pour amener les deux unités dans un état d'arrêt à froid, auquel cas le refroidissement se poursuit via le circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 trains indépendants avec 1 turbopompe et 2 motopompes
Ventilation de sûreté	<ul style="list-style-type: none"> • La ventilation de nombreux systèmes de sûreté est partagée par les deux unités et les 4 trains. Dans ce cas, la ventilation respecte le critère de défaillance unique 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 trains indépendants avec système de ventilation des systèmes de sûreté pour chaque train

En ce qui concerne les accidents couverts par les systèmes d'ultime secours du second niveau, on note les différences suivantes :

- les systèmes de second niveau des unités Doel 1/2 ne se trouvent pas dans des bâtiments bunkerisés, mais il existe une séparation physique entre les systèmes des premier et second niveaux de Doel 1/2 ;
- les systèmes de second niveau des unités Doel 1/2 sont principalement commandés manuellement depuis la salle de commande d'ultime secours du bâtiment GNS, tandis que les unités Doel 3 et Doel 4 bénéficient d'une phase de pilotage automatique du réacteur (sans intervention humaine) pendant une durée de trois heures.

Le tableau ci-dessous recense les spécificités des systèmes d'ultime secours de second niveau sur les unités Doel 1/2 d'une part, et Doel 3 et Doel 4 d'autre part.

Tableau 4 : Systèmes d'ultime secours de second niveau sur les unités de Doel

Systèmes d'ultime secours (second niveau)	Doel 1/2	Doel 3 et Doel 4
Eau alimentaire d'ultime secours des générateurs de vapeur (EF)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 circuit d'eau alimentaire d'ultime secours par unité alimentant les 2 générateurs de vapeur de chaque unité • Il est possible d'alimenter les 2 unités avec 1 circuit d'eau alimentaire d'ultime secours d'une seule unité 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 circuit d'eau alimentaire d'ultime secours pour chacun des 3 générateurs de vapeur
Circuit de refroidissement d'ultime secours des composants (EC) et bassins de refroidissement d'ultime secours (LU)	<ul style="list-style-type: none"> • Le circuit de refroidissement d'ultime secours des composants assure partiellement les fonctions du circuit d'eau brute et du circuit de refroidissement des composants • Deux réfrigérants à air reliés en parallèle sont raccordés aux réfrigérants et aux moteurs du circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt au moyen de deux pompes de circulation 	<ul style="list-style-type: none"> • Chaque unité possède un circuit de bassin de refroidissement d'ultime secours composé d'un grand bassin de refroidissement et de trois pompes de circulation indépendantes • Les unités Doel 3 et Doel 4 partagent également un bassin de refroidissement de réserve • La chaleur est évacuée par évaporation naturelle de l'eau présente dans ces bassins de refroidissement
Air comprimé d'ultime secours (EI et IAK)	<ul style="list-style-type: none"> • Si l'approvisionnement normal en air comprimé est indisponible, le circuit d'air comprimé d'ultime secours envoie de l'air comprimé vers les vannes les plus importantes de sorte que le réacteur puisse être amené à l'arrêt à froid 	<ul style="list-style-type: none"> • Le circuit d'air comprimé d'ultime secours se compose de trois compresseurs d'ultime secours indépendants et du réseau de distribution correspondant

Systèmes d'ultime secours (second niveau)	Doel 1/2	Doel 3 et Doel 4
Circuit d'injection d'acide borique d'ultime secours (RJ et EA)	<ul style="list-style-type: none"> • Le circuit régule également l'inventaire en eau du circuit primaire • Le circuit est fortement boré et ajoute de l'acide borique pour compenser l'apport de réactivité provoqué par la contraction du fluide primaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Le circuit régule également l'inventaire en eau du circuit primaire • Le circuit est fortement boré et ajoute de l'acide borique pour compenser l'apport de réactivité provoqué par la contraction du fluide primaire • Le système est doté de 3 pompes indépendantes sur l'unité Doel 3 et de 2 pompes indépendantes sur l'unité Doel 4
Injection d'ultime secours aux joints des pompes primaires (RJ)	<ul style="list-style-type: none"> • Il y a 1 circuit indépendant par unité. Des opérations manuelles peuvent être réalisées pour permettre l'injection aux joints des pompes primaires des deux unités par le circuit d'une seule unité • Chacun des 2 circuits possède des raccords avec vannes manuelles • Le circuit dispose d'une pompe et d'un réservoir d'acide borique 	<ul style="list-style-type: none"> • Chaque unité dispose de 2 pompes volumétriques pour l'aspiration d'acide borique dans un réservoir d'acide borique d'ultime secours à filtre partagé • La canalisation aboutissant à l'enceinte est redondante

1.2.2. Site de Tihange

Vis-à-vis des événements initiateurs considérés en phase de conception, des différences existent entre les unités Tihange 1 d'une part, et Tihange 2 et Tihange 3 d'autre part :

- une séparation physique partielle des systèmes de sûreté redondants à Tihange 1,
- une séparation physique complète des systèmes de sûreté redondants à Tihange 2 et Tihange 3,
- pour Tihange 2 et Tihange 3, les agressions d'origine externe ont été pris en compte dès la conception, en particulier :
 - 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 ;
 - des conditions conduisant à l'inaccessibilité ou l'indisponibilité de la salle de commande.

Tihange 2 et Tihange 3 disposent toutes deux de deux types de systèmes de sûreté : les systèmes de secours du premier niveau et les systèmes d'ultime secours du second niveau.

Les différences au niveau des systèmes de secours de premier niveau sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Systèmes de secours de premier niveau sur les unités de Tihange

Systèmes de secours (premier niveau)	Tihange 1	Tihange 2 et Tihange 3
Circuit d'injection de sécurité (CIS)	<ul style="list-style-type: none"> • 3 pompes haute pression (180 bars) également utilisées comme pompes du circuit de contrôle volumétrique et chimique • 3 accumulateurs de 25 m³ • 2 pompes d'injection de sécurité basse pression (8 bars) qui peuvent, en cas d'indisponibilité, être remplacées de manière autonome 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 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 trains complètement indépendants • 3 pompes haute pression (120 bars) • 3 accumulateurs de 35 m³ • 3 pompes d'injection de sécurité basse pression (20 bars), secourues par les 3 pompes du circuit d'aspersion d'enceinte • 3 échangeurs de chaleur pour le refroidissement de l'eau de recirculation • 3 réservoirs interconnectés (Tihange 2 uniquement) d'eau de piscine
Circuit d'aspersion d'enceinte (CAE)	<ul style="list-style-type: none"> • 6 pompes • 2 lignes d'injection directe à partir du réservoir (sans échangeur) • 2 lignes de recirculation interne à partir des puisards du bâtiment réacteur (avec échangeurs) • 2 lignes – soit d'injection directe depuis le réservoir, soit de recirculation depuis les puisards (avec échangeurs) – qui peuvent remplacer de manière autonome les pompes d'injection de sécurité basse pression 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 circuits complètement indépendants • 3 lignes – soit d'injection directe depuis le réservoir, soit de recirculation depuis les puisards (avec échangeur) – qui peuvent remplacer de manière autonome les pompes d'injection de sécurité basse pression
Refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA)	<ul style="list-style-type: none"> • 2 trains avec des parties de tuyauterie communes (collecteurs) • Soutirage en branche chaude 2 et injection en branches froides 3 et 1 • Les pompes d'injection de sécurité basse pression peuvent remplacer de manière autonome les pompes du système de refroidissement du réacteur à l'arrêt 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 circuits complètement indépendants
Générateurs diesels de secours (GDS)	<ul style="list-style-type: none"> • 2 générateurs diesels de secours • 1 générateur diesel de réserve peut être raccordé aux unités 1, 2 ou 3 en cas d'indisponibilité d'un générateur diesel de secours 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 générateurs diesels de secours • 1 générateur diesel de réserve peut être raccordé aux unités 1, 2 ou 3 en cas d'indisponibilité d'un générateur diesel de secours
Circuit d'eau d'incendie (CEI)	<ul style="list-style-type: none"> • Une pompe pouvant être alimentée par un générateur diesel de secours et une motopompe thermique (diesel) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pompes électriques alimentées par les générateurs diesel de secours
Eau alimentaire de secours/auxiliaire (EAS et EAA)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 turbopompe (100 %) avec alimentation en eau par le système d'ultime repli et 2 motopompes (2 x 50 %) alimentées par les générateurs diesels de secours 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 turbopompe (100 %) avec alimentation en eau par le système d'ultime repli et 2 motopompes (2 x 50 %) alimentées par les générateurs diesel de secours

À Tihange 1, les systèmes d'ultime secours du second niveau n'avaient pas été prévus à la conception. Néanmoins, suite à la première révision périodique de sûreté (en 1986), un système d'ultime repli (SUR) fut installé pour faire face à plusieurs scénarios d'accidents d'origine externe. Ce système inclut :

- deux alimentations électriques distinctes (un générateur diesel 380 V et un turboalternateur 380 V),
- un circuit d'eau de refroidissement composé de deux pompes puisant dans la nappe phréatique à partir de deux puits différents,
- une pompe d'injection aux joints des pompes primaires.

Tihange 2 et Tihange 3 bénéficient d'une phase de pilotage automatique du réacteur (sans intervention humaine) pendant une durée de trois heures après un accident d'origine externe.

Les caractéristiques des systèmes d'ultime secours de second niveau pour Tihange 2 et Tihange 3 sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 6 : Systèmes d'ultime secours de second niveau sur les unités de Tihange 2 et Tihange 3

Systèmes d'ultime secours (second niveau)	Tihange 2 et Tihange 3
Circuit d'injection d'ultime secours (CIU)	<ul style="list-style-type: none"> • 3 circuits complètement indépendants et 2 pompes d'injection d'acide borique à 7 000 ppm
Injection d'ultime secours aux joints des pompes primaires (CRU et IJU)	<ul style="list-style-type: none"> • Pour Tihange 2 et 3, le circuit CRU assure le refroidissement des barrières thermiques des pompes primaires (1 pompe pour chaque boucle primaire) • Pour Tihange 3, le circuit IJU assure l'injection aux joints (2 pompes 100 %)
Circuit de réfrigération d'ultime secours (CUS)	<ul style="list-style-type: none"> • 3 circuits 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 bâtiment DE
Circuit d'eau alimentaire d'ultime secours (AUG)	<ul style="list-style-type: none"> • 3 circuits assurant l'alimentation en eau des générateurs de vapeur. L'eau provient d'un réservoir de 100 m³ dans chaque circuit qui peut être rempli par le circuit d'eau déminéralisée normale (depuis le système d'eau normale), par l'eau des puits ou par l'eau de Meuse
Circuit d'eau de Meuse et de nappe phréatique	<ul style="list-style-type: none"> • L'eau peut être fournie par trois puits ou pompée directement dans la Meuse
Générateurs diesels d'ultime secours	<ul style="list-style-type: none"> • 3 générateurs diesel d'ultime secours avec réservoir de carburant procurant jusqu'à 7 jours d'autonomie

1.3. Utilisation des évaluations probabilistes de sûreté dans le cadre de l'évaluation de sûreté

Les évaluations probabilistes de sûreté (EPS) furent entamées à l'initiative de l'exploitant avant d'être intégrées aux révisions décennales. Les EPS comprennent :

- une EPS de niveau 1, servant à déterminer la probabilité d'une fusion du cœur du réacteur (probabilité d'endommagement du cœur),
- une EPS de niveau 2, destinée à calculer la probabilité d'un rejet dans l'environnement (probabilité de rejet).

Les évaluations couvrent les conditions suivantes de la centrale :

- fonctionnement en puissance,
- arrêt (système de refroidissement du réacteur à l'arrêt connecté),
- fonctionnement à inventaire réduit en eau (« mi-boucle »).

Les EPS traitent des événements d'origine interne. Les groupes d'événements initiateurs qui ont été considérés sont les suivants :

- accident de perte de réfrigérant primaire (APRP),
- rupture des conduites secondaires (dans l'enceinte et en dehors de l'enceinte),
- perte d'alimentation des tableaux électriques (classé et non classé de sûreté, courant alternatif et courant continu),
- perte des alimentations électriques externes (LOOP) (courte et longue durée),
- perte d'air d'instrumentation,
- rupture de tube de générateur de vapeur, combinée ou non à des brèches des conduites secondaires,
- transitoires primaires avec, entre autres, perte des circuits de refroidissement de sûreté,
- transitoires secondaires avec, entre autres, perte de l'eau alimentaire normale et auxiliaire,
- signaux intempestifs,
- perte du circuit de refroidissement, considéré comme un événement initiateur.

Le scénario d'un station black-out (SBO) est couvert par l'événement initiateur LOOP combiné à une perte potentielle des générateurs diesel des premier et second niveaux.

Des évaluations probabilistes de sûreté ont été initiées pour évaluer le risque d'incendie et d'inondation sur toutes les unités belges. A ce jour, les EPS réalisées sur les unités belges n'ont pas pris en compte les accidents d'origine externe ou les événements initiateurs liés aux piscines de combustible usé. Les modes de défaillance de l'enceinte de confinement faisaient partie de l'EPS menée dans les années 1990 sur les unités Doel 1/2 et Tihange 1. Une EPS complète – incluant des rejets de produits de fission pour les différents modes de défaillance de l'enceinte de confinement – est en cours pour chaque unité belge représentative.

1.4. Liste des acronymes

Acronyme	Terme complet
AC	Alternating current
ADG	Administratief gebouw
AF	Auxiliary Feed
AFW	Auxiliary Feedwater
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ATWS	Anticipated Transient Without Scram
AUG	Alimentation Ultime secours des GV (Tihange)
AWW	Antwerpse waterwerken
B	Bâtiment bureau
B01Bi	Réservoir de remplissage piscine de Tihange 1
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)
BAR	Gebouw reactorhulpdiensten
BDBE	Beyond Design Earthquake (séisme hors conception)
BDBF	Beyond Design Basis Flooding (crue hors conception)
BK/BKR	Bunker
BKZ	Bunker Controle Zaal
BMMT	Base Mat Melt Through
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
CAU	Circuit d'Air Ultime
CCV	Circuit de Charge et de contrôle Volumétrique
CD	Cooling Diesels
CDF	Core Damage Frequency
CEB	Circuit d'Eau Brute
CEC	Circuit d'Eau de Circulation
CEG	Circuit d'Eau Glacée
CEI	Circuit d'Eau d'Incendie
CEU	Circuit d'Eau Ultime (Tihange 2-3)
CEX	Circuit d'exhaure dans les bâtiments nucléaires
CF	Gekoeld Water
CFR	Code of Federal Regulations
CGCCR	Centre Gouvernemental de Coordination et de Crise
CHE	Contrôle de l'Hydrogène dans l'Enceinte
CIS	Circuit d'Injection de Sécurité
CIU	Circuit d'Injection Ultime
CMCPB	Crisis managent Center Productie Belgique-Luxemburg
CMCPB	Centre de Management de Crise Production Belgique
CMU	Circuit de Moyens Ultimes
CSNI	Committee on the Safety of Nuclear Installations
CNT	Centrale Nucléaire de Tihange
COS	Centre Opérationnel de Site

Acronyme	Terme complet
COT	Centre Opérationnel de Tranche
CPR	Circuit de Protection du Réacteur
CRDM	Control Rod Drive Mechanism
CRDS	Control Rod Drive Shaft
CRI	Circuit de Réfrigération Intermédiaire
CRP	Circuit de Réfrigération Primaire
CRU	Circuit de Refroidissement Ultime
CTP	Circuit de Traitement des Piscines de désactivation
CUS	Circuit d'Ultime Secours
CV	Chemische en volumetrische controle
CVA	Circuit Vapeur Auxiliaire
CVC	Circuit de Vapeur de Contournement
CVD	Contournement Vapeur Désurchauffe condenseur (Tihange 1)
CVP	Circuit de Vapeur Principal
CW	Cooling Water pipes
D	Bâtiment Désactivation
DBE	Design Basis Earthquake (séisme de référence)
DBF	Design Basis Flooding (crue de référence)
DC	Courant continu
DD	Ontgast gedemineraliseerd water (secundair)
DE	Bâtiment entreposage des assemblages de combustible usé
DG	Dieselgroepen
DNG	Deuxième nivellement général
DUR	Diesel d'Ultime Repli (Tihange 1)
DW	Ontgast gedemineraliseerd water (primaire)
EA	Nood-boorzuur injectiekring
EA	Espace annulaire
EAA	Eau Alimentaire Auxiliaire (Tihange 2 - Tihange 3)
EAN	Eau Alimentaire Normale
EAS	Eau Alimentaire de Secours (Tihange 1)
EBL	Electrabel
EC	Emergency component cooling
ECA	Emergency Contingency Actions
ECOS	Emergency Call Out System
ED	Emergency Dieselgroepen
EDD	Eau Déminéralisée Dégazée
EDMG	Extensive Damage Mitigation Guidelines
EDN	Eau Déminéralisée Normale
EF	Emergency Feedwater
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
EI	Air comprimé de secours
EMAS	Eco Management and Audit Scheme
ENSREG	European Nuclear Safety Regulators' Group
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
ERF	Emergency Response Facility
ERG	Emergency Response Guidelines
EUR	European guide for new nuclear reactors
EV	Emergency Ventilation

Acronyme	Terme complet
EW	Extractie water
FA	Filtre Absolu
FE	Fire water system
FR	Filtre
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
GDU	Groupe Diesel Ultime (Tihange 2 - Tihange 3)
GMH	Gebouw Mechanische Hulpdiensten
GNH	Gebouw Nucleaire Hulpdiensten
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
GUS	Groupe turbo-alternateur d'Ultime Secours (Tihange 1)
GV	Générateur de Vapeur
GVD	Gebouw volledige Demineralisatie
HCLPF	High Confidence, Low Probability of Failure
HKZ	Hoofdcontrolezaal
HP	Haute Pression
IAEA	International Atomic Energy Agency
IA-IAK	Air comprimé de secours
IDF	Intensité-Durée-Fréquence
IJU	Injection aux Joints Ultime (Tihange 3)
IPS	Important Pour la Sécurité
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	International Organization for Standardization - Standard # 14001
JCO	Justification for Continued Operation
K	Bâtiment des pompes EAA
KD	Bunker/gelijkstroomnet
KVR	Koelvijver - Bassin de refroidissement de secours
KZ	Controlezaal - salle de conduite
LDSI	Lage Druk Safety Injection
LOCA	Loss Of Coolant Accident
LOOP	Loss Of Offsite Power
LPA	Liquide Post-Accidentel
LTO	Long Term Operation
LU	Koelvijver - Bassin de refroidissement de secours
LUHS	Loss of Ultimate Heat Sink
MAH	Magazijn
MORV	Motorised Operated Relief Valve
MOX	Mixed Oxide
MPA	Moto Pompe Alimentaire (Tihange 2 - Tihange 3)
MSK	Medvedev-Sponheuer-Kamik schaal
MTU	Alimentation électrique Ultime Secours
MW	Niet-ontgast gedemineraliseerd water
MW	Megawatt

Acronyme	Terme complet
MWP	Gebouw pompkelder
N	Bâtiment des auxiliaires nucléaires
NA	Not applicable
NEI	Nuclear Energy Institute
NKZ	Noodcontrolezaal
NP	Noodplan
NPK	Noodplankamer
NPP	Nuclear Power Plant
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
ORB	Observatoire Royal de Belgique
OTSC	On-Site technical Support Centre
OVG	Ondergrondse Verbindings-Galerij
P	Station de pompage
PAMS	Post-Accidental Monitoring System
PAR	Passive Autocatalytic Recombiner
PB	Boorzuuurbereidingskring
PCA	Piège à Charbon Actif
PED	Circuit de Production d'Eau Déminéralisée
PGA	Peak Ground Acceleration
PIS	Pompe d'Injection de Secours (Tihange 1)
PIU	Plan Interne d'Urgence
PL	Pool Loop
PORV	Pressurized Operated Relief Valve
PORV	Power Operated Relief Valve
PP	Pompe
PR	Pressuriseur
PR	Panneau de Repli
PS	Primaire Staalname
PSA	Probabilistic Safety Assessment
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard Analysis
PU	Zuivering primaire kring
PUR	Panneau d'Ultime Repli (Tihange 1)
PWR	Pressurized Water Reactor
PWROG	PWR Owners Group
RC	Circuit de refroidissement du réacteur - circuit primaire
RF	Résistant au Feu
RG	Regulatory Guide
RGB	Reactorgebouw
RJ	Noodkoelsysteem dichtingen primaire (RC) pompen
RLE	Review Level Earthquake
RM	Radioactivity Monitoring
RN	Koeling CCW-kring (WAB)
RPP	Circuit de Régulation de Pression Primaire
RR	Réservoir
RRA	Refroidissement Réacteur à l'Arrêt
RS	Rapport de sûreté
RTGV	RuptureTube Générateur de Vapeur
RW	Ruw-Waterkring
RWST	Refueling water storage tank

Acronyme	Terme complet
SAM	Severe Accident Management
SAMG	Severe Accident Management Guidelines
SBO	Station Black-Out
SC	Refroidissement du réacteur à l'arrêt
SCG	Splijtstof Conteneur Gebouw
SCK-CEN	Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire/Studiecentrum voor Kernenergie (Mol)
SEBIM	Type de soupapes de régulation pilotées
SETHY	Service d'Études HYdrologiques de la Région Wallonne
SEU	Circuit d'Eau Ultime des piscines du DE
SEX	Circuit d'exhaure du bâtiment DE
SFP	Single Failure Proof
SG	Steam Generator
SGH	Simpson, Gumpertz & Heger
SI	Safety injection
SMA	Seismic Margin Assessment
SMR	Seismic Margin Review
SOER	Significant Operating Experience Report
SP	Sproeikring reactorgebouw
SPG	Splijtstofgebouw
SPI	Surveillance pendant un incident
SQUG	Seismic Qualification Utility Group
SRI	Circuit de réfrigération intermédiaire du bâtiment DE
SSC	Structures, Systèmes et Composants
SSE	Safe Shutdown Earthquake
STP	Circuit Traitement d'eau des piscines du DE
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	Turbo Pompe Alimentaire (Tihange 2 - Tihange 3)
TPA EAA	Turbo Pompe Alimentaire Eau Alimentaire Auxiliaire
TPS	Turbo Pompe de Secours (Tihange 1)
TUR	Tussenruimte reactorgebouw
TW	Stadswater
UCL	Université Catholique de Louvain
ULg	Université de Liège
USAEC	United States Atomic Energy Commission
USNRC	United States Nuclear Regulatory Commission
VAN	Ventilatie gebouw nucleaire hulpdiensten (GNH) - niet-veiligheidsdeel
VAS	Ventilatie gebouw nucleaire hulpdiensten (GNH) - veiligheidsdeel
VBA	Stoomontlastingsklep
VBP	Ventilation BAN Piscine de désactivation
VBR	Ventilation Bâtiment Réacteur (Tihange 2 - Tihange 3)
VBU	Ventilation Bâtiment Ultime
VC	Ventilatie Reactorgebouw
VDA	Atmosferische ontlastingsafsluiters
VDA	Vanne de Décharge à l'Atmosphère
VDE	Ventilation bâtiment DE
VE	Ventilatie Electriche hulpdiensten
VEA	Ventilation Espace Annulaire
VEE	Ventilation Enceinte Étanche (Tihange 1)
VEN	Ventilatie Electriche hulpdiensten (GEH) - niet-veiligheidsdeel

Acronyme	Terme complet
VES	Ventilatie Electriche hulpdiensten (GEH) - veiligheidsdeel
VF	Ventilatie splijtstofgebouw
VH	Ventilatie gebouw mechanische hulpdiensten
VI	Ventilatie tussenruimte en waterbekkens reactorgebouw
VK	Ventilatie Bunker
VLE	Ventilation des Locaux Électriques
VP	Ventilatie Controlezaal
VRP	Véhicule de radioprotection
W	Bâtiment BUS
WAB	Water- en AfvalBehandelingsinstallatie
WANO	World Association of Nuclear Operators
WENRA	Western European Nuclear Regulators' Association
WOG	Westinghouse Owners Group - (rebaptisé PWR Owners Group or PWROG)
WVP	Watervang Pompstation Doel 3&4
Z	Espace annulaire

2. Séisme

Afin de produire un rapport national autoportant en vue du processus d'examen par les pairs à venir, les informations pertinentes présentées par l'exploitant dans ses rapports de tests de résistance sont d'abord rappelées.

A la fin de ce chapitre figure une section dans laquelle sont présentées l'évaluation et les conclusions de l'Autorité de sûreté belge (AFCN et Bel V).

2.1. Base de conception

2.1.1. Séisme contre lequel les centrales sont conçues

2.1.1.1. Caractéristiques du séisme de conception (DBE)

L'activité sismique est faible dans le nord-ouest de l'Europe. Les installations de Tihange et de Doel sont néanmoins conçues pour résister à un séisme de plus grande intensité que le potentiel sismique de cette zone.

Centrale nucléaire de Tihange

L'examen de l'environnement géologique et sismotectonique du site de Tihange a été mené sur une zone d'un rayon de 320 km autour du site. D'un point de vue géologique, le site de Tihange est situé à la limite nord du massif des Ardennes. La centrale nucléaire de Tihange est située dans la plaine alluviale de la rive droite de la Meuse. Des études approfondies ont également établi que la constitution du sol ne peut correspondre à une faille qui traverserait le site.

Tihange 1 a été construit pour résister à un DBE caractérisé par une accélération maximale au sol (peak ground acceleration / PGA) de 0,1 g. En conformité avec les pratiques réglementaires dans l'industrie nucléaire (10 CFR 100, IAEA 50-SG-S1) à cette époque, cette valeur a été déterminée en faisant appel à une approche déterministe. Ce niveau sismique correspond également au standard minimum recommandé par les règlements applicables au moment de la construction de Tihange 2 et Tihange 3.

Une réévaluation du niveau sismique du site lors de la première révision périodique de sûreté de Tihange 1 (1985) a relevé l'accélération maximale au sol (PGA) du DBE à 0,17 g pour les trois unités de Tihange. Cette réévaluation a été faite après la construction de Tihange 1 et pendant la construction de Tihange 2 et Tihange 3. Les modifications réalisées à cette époque ont permis de tenir compte de ce relèvement du PGA.

Centrale nucléaire de Doel

Le site de Doel est situé sur la rive gauche de l'Escaut. D'un point de vue géologique, Doel fait partie du massif Londres-Brabant. Le massif du Brabant est délimité par un bassin minier au nord, à l'est et au sud. Ce bassin sépare le massif de la vallée du Bas-Rhin au nord, le massif des Ardennes au sud-est, et le bassin parisien au sud et au sud-ouest.

Lors de la conception de Doel 1/2, le site de Doel était généralement considéré comme étant « non sismique ». En conséquence, la conception initiale des deux unités n'a pas pris en compte le risque sismique. Lors de la première révision périodique de sûreté (1985), on a néanmoins décidé d'intégrer le risque de tremblement de terre. Le PGA pour les unités de Doel 1/2 a ainsi été fixé à 0,058 g.

Conformément aux pratiques réglementaires, les unités de Doel 3 et Doel 4 ont été conçues sur la base d'un PGA de 0,1 g.

2.1.1.2. Méthode utilisée pour évaluer le séisme de conception (DBE)

Deux approches déterministes différentes ont été utilisées pour définir le DBE des centrales nucléaires de Doel et de Tihange.

La méthode déterministe sismotectonique :

- définition des paramètres des sources sismiques : découpage de la Belgique en différentes zones sismiques et recensement de tous les séismes jamais observés ;
- prise en compte du plus fort séisme dans chaque zone ; on suppose de manière conservatrice que ce séisme se produirait sur le site même ou à proximité immédiate de la zone sismique du site ;
- l'intensité du séisme de conception sur le site est dérivée d'une loi d'atténuation, donnant l'intensité en fonction de la magnitude et de la distance.

Une méthode déterministe historique :

- détermination de l'intensité maximale jamais observée près du site suite à un tremblement de terre ;
- addition d'une marge de sécurité correspondant à un degré d'intensité.

Pour les deux approches déterministes, l'accélération maximale au sol est dérivée de courbes de corrélation entre l'intensité et l'accélération maximale au sol.

Centrale nucléaire de Tihange

Les deux approches déterministes ont donné le même résultat, à savoir un séisme d'une intensité de VII sur l'échelle MSK. L'accélération maximale au sol correspondant à cette intensité était de 0,1 g, en utilisant les courbes de corrélation de Medvedev.

Lors de la première révision périodique de sûreté de Tihange 1 (1985), de nouveaux guides réglementaires recommandaient un schéma d'atténuation différent. Cette recommandation suggérait à l'exploitant de prendre en considération un séisme maximal de VII 1/2 sur l'échelle MSK pour le site de Tihange. L'utilisation de courbes de corrélation intensité-accélération prescrites dans le document NRC - NUREG-0143 a résulté en un relèvement du séisme DBE de 0,1 g à 0,17 g.

Le spectre de réponse horizontale, au niveau du sol du site de Tihange, a été déterminé pour le séisme DBE par compilation des enregistrements sismiques faits sur des sites comparables.

Centrale nucléaire de Doel

A ce jour, le tremblement de terre avec le plus fort impact à Doel reste le séisme de 1938 à Zulzeke-Nukerke : l'épicentre était situé à environ 75 km du site. Ce tremblement de terre est historiquement le plus significatif, atteignant l'intensité la plus élevée, et il a été pris comme référence à la conception. La secousse a eu une magnitude de 5,6 sur l'échelle de Richter et il fut ressenti à Doel avec une intensité de V sur l'échelle MSK.

Les deux méthodes déterministes ont été appliquées au site de Doel sur la base de ce séisme. Elles ont toutes les deux donné à peu près le même résultat. La valeur la plus élevée du PGA a finalement été prise en compte pour le site. L'accélération horizontale correspondante au niveau du sol s'élève à 0,058g (PGA) pour les fréquences ≥ 33 Hz.

Le spectre de réponse a alors été déterminé en tenant compte des propriétés spécifiques du sous-sol à Doel. Ce spectre spécifique au site a été adopté comme base pour vérifier la résistance sismique des structures. Comme déjà mentionné, un PGA relevé à 0,1 g a été appliqué pour Doel 3 et Doel 4.

2.1.1.3. Conclusion sur l'adéquation de la base de conception pour le séisme

Dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté effectuées suite à l'accident de Fukushima, et afin d'assurer que les données sismiques sont valides et à jour, l'exploitant a demandé à l'Observatoire Royal de Belgique (ORB) de mener une nouvelle étude du risque sismique basée sur l'analyse probabiliste de l'aléa sismique (probabilistic seismic hazard analysis / PSHA) tenant compte des informations et données les plus récentes.

Ces dernières années, deux développements se sont produits en relation avec la définition du risque sismique :

- en ce qui concerne la connaissance du risque sismique en Belgique, le tremblement de terre à Verviers en 1692 a été caractérisé et étudié plus précisément ;
- en ce qui concerne la méthode utilisée pour établir l'aléa sismique, la méthode probabiliste est de plus en plus utilisée. Ce faisant, tous les tremblements de terre historiquement connus et d'intérêt pour le site ont été pris en considération. De cette manière, on utilise les connaissances les plus récentes des zones sismiques en Belgique et aux environs.

L'étude probabiliste de l'ORB indique premièrement l'accélération en fonction du taux de dépassement et ensuite les spectres de risque uniforme.

Centrale nucléaire de Tihange

L'étude probabiliste de l'ORB a établi le niveau sismique, exprimé en termes d'accélération maximale et de spectre au niveau de la roche mère (près de la surface à Tihange). Les accélérations maximales à cette profondeur sont de :

- 0,064 g pour un séisme de période de retour de 1 000 ans (84^{ème} percentile) ;
- 0,21 g pour un séisme de période de retour de 10 000 ans (valeur moyenne).

Pour une période de 100 000 ans, la valeur médiane est inférieure à 0,21 g. La valeur la plus pénalisante a été choisie, soit une accélération de 0,21 g à la roche mère.

Les niveaux sismiques de conception actuels des trois unités de Tihange ont été comparés à ceux déduits de cette nouvelle étude de l'ORB sur le risque 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.

La PGA calculée par l'ORB sur la roche mère a été portée à 0,23 g en surface (10 % de marge) 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 sur le site est conservée en appliquant un facteur d'amplification de 2,64 (réputé conservatif, exprimé à 84 % de confiance).

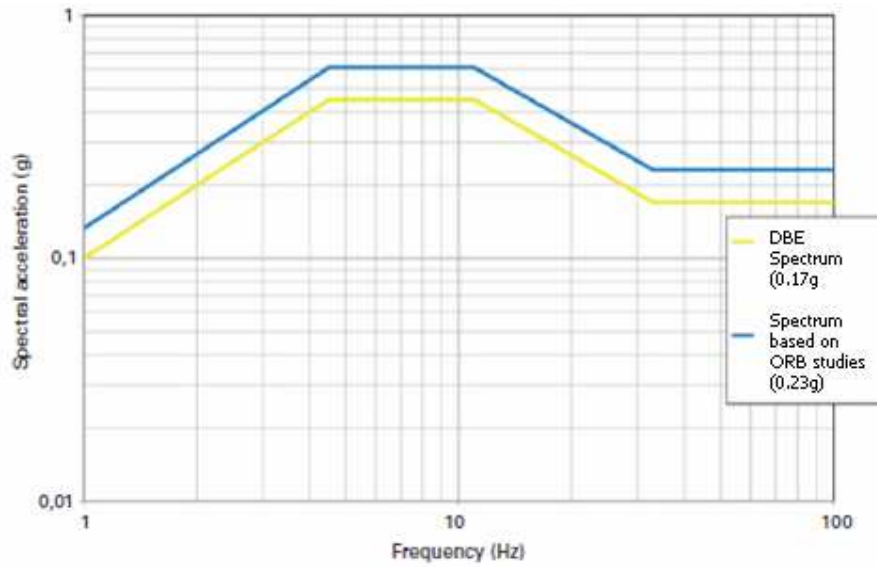


Figure 5 : Comparaison des spectres de conception des trois unités de Tihange avec le nouveau spectre de site dérivé de l'étude de l'ORB

Il convient de noter que la différence entre le nouveau spectre dérivé de l'étude ORB et le spectre DBE est très limitée en regard des marges prises en compte lors des calculs initiaux. En fait, les hypothèses considérées lors de la conception sont celles requises par les codes de construction en vigueur, reconnues comme étant conservatives, en particulier dans le domaine nucléaire où les exigences dépassent de loin celles des Eurocodes.

Le spectre déduit de l'étude préliminaire de l'ORB dépasse légèrement le DBE pour les unités de Tihange, mais ceci n'a pas de conséquence pour les raisons suivantes :

- étant classés sismiques pour un DBE basé sur des méthodes réputées conservatives, et compte tenu des pratiques inhérentes à la conception des structures nucléaires, la grande majorité des structures, systèmes et composants conservent leur classement sismique pour le séisme dérivé de l'étude ORB ;
- l'évaluation de la marge basée sur la méthodologie SMA, menée dans le cadre de cet exercice et décrite ci-après, confirme ce résultat.

Une étude plus détaillée et plus complète du risque sismique pour le site de Tihange sera toutefois menée et permettra de conclure quant à l'adéquation du DBE.

Centrale nucléaire de Doel

L'étude probabiliste menée par l'ORB a déterminé le niveau sismique exprimé en termes d'accélération maximale et de spectre à une profondeur d'environ 600 mètres (roche mère). Les accélérations maximales à cette profondeur sont de :

- 0,053 g pour un séisme d'une période de retour de 1 000 ans (valeur moyenne),
- 0,146 g pour un séisme d'une période de retour de 10 000 ans (valeur moyenne).

Les accélérations maximales du séisme dont on peut dire avec 84 % de certitude qu'il ne se produira qu'une fois tous les 10 000 ans, ainsi que les valeurs « médianes » pour 100 000 ans, sont toutes deux inférieures à 0,146 g.

La valeur la plus pénalisante de l'accélération maximale au niveau de la roche mère, c'est-à-dire la valeur moyenne pour 10 000 ans, a été arrondie à 0,15 g, et le spectre de réponse en surface a été obtenu avec la fonction de transfert du site. Le spectre de réponse utilisé provenant de l'US NRC Regulatory Guide 1.60. Ceci a alors permis une comparaison avec les valeurs correspondantes de la base de conception. L'illustration suivante présente ces résultats :

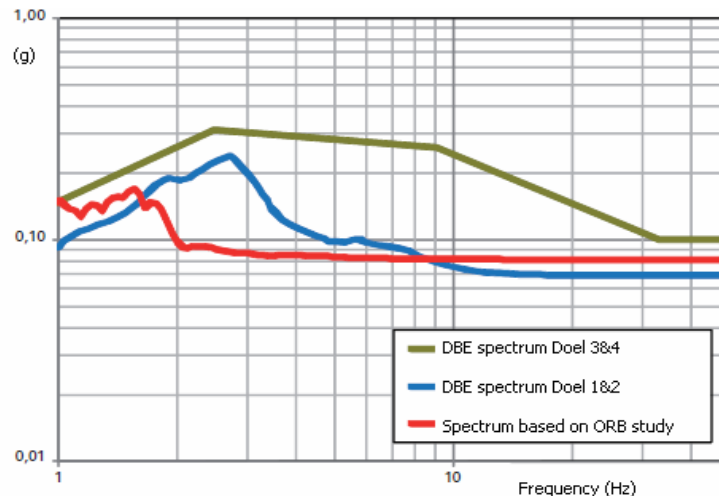


Figure 6 : Spectre au niveau du sol basé sur l'étude ORB et spectre de conception de Doel 1&2, Doel 3 et Doel 4

- Les fréquences à considérer afin d'évaluer la résistance des bâtiments sont comprises entre 1,5 et 5 Hz. Dans cette plage, la nouvelle évaluation donne une valeur sensiblement plus faible pour l'accélération au niveau du sol que celles prises en compte à la conception de Doel 1/2 et de Doel 3 et Doel 4 ;
- Les fréquences plus élevées sont significatives pour les équipements à l'intérieur des bâtiments. Cette nouvelle évaluation donne une PGA de 0,081 g. Cette valeur est légèrement plus élevée que celles prises en compte pour la conception de Doel 1/2 et inférieure aux valeurs de conception de Doel 3 et Doel 4. Cette petite différence est peu significative pour la résistance sismique réelle des équipements dans le cas d'un tel tremblement de terre. En effet, tous les équipements qualifiés au séisme sont conçus et construits en respectant de nombreux facteurs de sécurité. Ceci a été confirmé par l'étude SMA qui a évalué l'intégrité de équipements concernés à une accélération de 0,3 g.

2.1.2. Dispositions visant à protéger les centrales contre le séisme de conception

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

Centrale nucléaire de Tihange

Bâtiments et structures

Les bâtiments et structures protègent les systèmes suivants contre les accidents d'origine externe :

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

Ces structures sont des bâtiments de classe 1 sismique selon le RG-1.29 (révision 2, février 1976). Elles sont donc conçues pour résister au DBE.

Systèmes

Pour assurer un arrêt stable et contrôlé de l'unité et son maintien dans cet état, les systèmes suivants qui assurent les fonctions vitales doivent être capables de résister à un séisme DBE :

- le système de refroidissement du cœur : circuit primaire (et l'EAS/l'EAA alimentant les générateurs de vapeur, et l'AUG pour le second niveau de Tihange 2 et Tihange 3) ;
- le contrôle de la réactivité : CCV, CIU (second niveau à Tihange 2) et IJU (second niveau à Tihange 3) ;
- le contrôle de la pression primaire : CCV - CIS - RPP ;
- le contrôle de l'inventaire du cœur : CCV, CIU (second niveau à Tihange 2) et IJU (second niveau à Tihange 3) ;
- l'évacuation de la chaleur résiduelle : RRA - CRI - CEB suppléé par le circuit d'eau de nappe (Tihange 1) ou les systèmes de second niveau RRA - CRU - CEU (Tihange 2 et Tihange 3).

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

- l'injection de sécurité : CIS ;
- l'aspersion d'enceinte : CAE ;
- la mise en dépression et la filtration de l'espace annulaire : VEA ;
- l'isolement du bâtiment réacteur ;
- l'habitabilité de la salle de conduite : CSC ;
- l'habitabilité de la salle de commande du BUS située dans le bâtiment renforcé, en cas d'indisponibilité de la salle de commande normale de Tihange 2 ou Tihange 3.

Afin de garantir la sûreté du combustible entreposé dans les piscines des unités, la fonction de refroidissement de ces piscines est également assurée en cas de séisme DBE.

En conditions accidentelles, il est également nécessaire de mesurer et de contrôler la radioactivité. Les systèmes suivants assurent ce contrôle : CEN-LPA, GBR et les chaînes VBP (pour Tihange 1) et EPA, GBR, GCH (pour Tihange 2 et Tihange 3). Ceci permet d'obtenir des informations fiables sur les rejets potentiels de radioactivité dans l'environnement.

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 / le refroidissement de certains équipements de sûreté est indispensable à leur bon fonctionnement.

Il est également nécessaire de maintenir des conditions d'ambiance dans des limites définies pour la zone habitable. Pour ces raisons, les systèmes suivants sont qualifiés ou partiellement qualifiés pour résister au séisme DBE : VEA, VLE, CSC, VBP et ventilation du BUR.

La première révision périodique de sûreté de Tihange 1 (1985) a entraîné la définition d'un système d'ultime secours pour gérer des événements qui n'ont pas été pris en considération dans la conception initiale du bâtiment électrique du réacteur. 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 et la salle de commande du BUS (pour Tihange 2 et Tihange 3) et ses panneaux, consoles, armoires d'instrumentation et armoires électriques assurent la commande à distance et le contrôle de tous les systèmes requis mentionnés précédemment. Ils sont donc eux aussi classés pour résister à un séisme DBE.

Ces systèmes de contrôle et de commande assurent la protection automatique du réacteur en conditions normales de fonctionnement et la mise en service des systèmes de sûreté et leurs systèmes auxiliaires.

Systèmes électriques

En cas de perte totale des alimentations électriques extérieures, des sources de production autonomes composées de générateurs électrogènes avec moteurs diesel (GDS) sont utilisées.

En cas de perte de ce premier niveau de protection, un second niveau d'alimentation électrique complètement indépendant (trois générateurs diesels GDU par unité) alimente les équipements d'ultime secours de second niveau à Tihange 2 et Tihange 3. Pour Tihange 1, un turboalternateur actionné par de la vapeur secondaire (groupe d'ultime secours - GUS) et un générateur diesel (diesel d'ultime repli - DUR) constituent la source d'alimentation d'ultime secours.

Un groupe diesel de réserve (GDR), présent à Tihange 2, constitue un secours supplémentaire disponible pour les trois unités. En effet, il peut suppléer un des diesels (GDS) de chacune des unités. Les groupes électrogènes GDS, GUS, GDR et DUR sont qualifiés en classe 1 sismique et sont également localisés à l'intérieur de structures de classe 1 sismique.

Bâtiment DE de la piscine d'entreposage de combustible usé

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

Les circuits 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 Tihange 3. Pour ces circuits, l'aptitude au fonctionnement des pompes actives, des vannes actives et de leurs moteurs ou actionneurs, ainsi que de leurs fixations et montages, est démontrée. L'instrumentation et les équipements du bâtiment DE sont de classe 1E.

Centrale nucléaire de Doel

Pour Doel 1/2 et pour Doel 3 et Doel 4, les structures, systèmes et composants essentiels à la mise à l'arrêt stable et contrôlé de la centrale sont de classe I sismique.

Doel 1/2

Le critère général de conception 2 de 10 CFR 50 (annexe A) exige que les structures, systèmes et composants importants pour la sûreté soient conçus de façon à résister aux phénomènes naturels. Leur fonction de sûreté ne peut être compromise en aucune circonstance.

Ces structures, systèmes et composants sont de classe I sismique et sont conçus selon les critères sismiques applicables pour cette classe.

A la conception de Doel 1/2, la sismicité de la zone a été considérée comme trop faible pour être prise en compte. Suite à la première révision périodique de sûreté (1985), le risque sismique a été réexaminé. À ce moment, la décision a été prise de :

- prendre en considération un séisme de référence (DBE avec une PGA de 0,058 g) ;
- prévoir les moyens nécessaires au maintien des fonctions critiques de sûreté au cas où un tel séisme survenait.

Structures de génie civil

La résistance du bâtiment réacteur (RGB), du bâtiment des services auxiliaires du réacteur (BAR) et du bâtiment des services auxiliaires nucléaires (GNH) à un séisme DBE a été calculée sur la base d'un modèle mathématique des bâtiments. Les calculs ont montré que les bâtiments sont à même de résister à un séisme DBE.

Systèmes

Les systèmes de sûreté nécessaire à la mise à l'arrêt stable et contrôlé de Doel 1/2 garantissent le maintien des fonctions suivantes :

- l'évacuation de la chaleur résiduelle, incluant le refroidissement du circuit primaire par le circuit secondaire ;
- la préservation de l'état sous-critique du réacteur, même pendant la mise à l'arrêt à froid et le maintien en arrêt à froid ;
- la surveillance de l'inventaire en eau dans le circuit primaire ;
- la surveillance de la pression dans le circuit primaire.

Ces fonctions permettent la réalisation d'un arrêt à chaud instantané et le maintien dans cet état. La mise à l'arrêt à froid et le maintien dans cet état sera possible à plus long terme. Ces fonctions permettent également d'évacuer la chaleur d'une unité qui se trouve déjà en état d'arrêt à froid au moment du séisme (évacuation de la chaleur via le circuit SC).

Une fonction de sûreté supplémentaire concerne le refroidissement des piscines de désactivation dans le bâtiment des services auxiliaires nucléaires (GNH).

Pour chaque unité, le bâtiment d'ultime secours (GNS) comporte un certain nombre de dispositifs supplémentaires qui permettent d'amener les unités dans un état d'arrêt stable et contrôlé après un tremblement de terre.

Ces systèmes d'ultime secours comprennent par unité :

- un circuit d'eau alimentaire d'ultime secours (EF);
- un système d'injection d'ultime secours aux joints (RJ) des pompes primaires, qui permet également de surveiller l'inventaire en eau dans le circuit primaire et la réactivité du réacteur ;
- un certain nombre de systèmes de support : air comprimé (EI), ventilation (EV), refroidissement des équipements (circuit EC qui peut reprendre la fonction du circuit CC), alimentation électrique par des générateurs diesel (ED) et des batteries, instrumentation ;
- une salle de commande d'ultime secours (NKZ) qui permet de commander tous les systèmes d'ultime secours ;
- un circuit de refroidissement d'ultime secours pour les piscines de désactivation (circuit PL).

Un certain nombre des systèmes existants a également été classé sismique pour être sûr de pouvoir amener les unités dans le mode d'arrêt à chaud puis dans le mode d'arrêt à froid suite à un tremblement de terre, et de garantir la capacité à refroidir les piscines de désactivation. Ces systèmes sont :

- le circuit primaire, jusqu'au second organe d'isolement actif (inclus) du premier organe d'isolement passif, normalement fermé ;
- le circuit secondaire, des générateurs de vapeur jusqu'au premier organe d'isolement (inclus), dans le but de maintenir l'intégrité de cette partie du circuit ;
- le circuit d'évacuation de la chaleur résiduelle (SC), pour l'évacuation de la chaleur résiduelle à plus long terme ;
- le circuit de refroidissement des piscines de désactivation (PL), pour l'évacuation de la chaleur résiduelle ;
- des (parties de) systèmes et équipements dont la défaillance, consécutive à un tremblement de terre, peut entraîner l'endommagement des systèmes et équipements précités.

Le maintien de l'inventaire en eau dans le circuit primaire ainsi que le refroidissement et l'évacuation de la chaleur résiduelle peuvent dès lors être assurés par des systèmes et équipements classés sismiques. Ces systèmes et équipements ont été qualifiés au séisme DBE durant la première révision périodique de sûreté (1985).

Équipement électrique

Les équipements électriques de classe 1E (selon la définition de la norme IEEE 323-1974) nécessaires pour alimenter les systèmes précités résistent aux tremblements de terre.

Doel 3 et Doel 4

Selon la cause d'un incident – d'origine interne ou externe – le niveau de protection sollicité est différent :

- le premier niveau (équipements de secours) protège l'environnement contre tout incident causé à l'intérieur des installations ;
- le second niveau (équipements d'ultime secours) protège l'environnement contre tout incident causé à l'extérieur des installations.

Les structures, systèmes et composants des deux niveaux sont conçus de telle façon que leur fonction de sûreté demeure intacte après un tremblement de terre. Ces SSC peuvent résister aux conséquences d'un DBE et sont également conformes aux standards de la classe I sismique selon le RG 1.29.

Structures de génie civil

Des fonctions de sûreté spécifiques ont été assignées aux structures de génie civil du premier niveau de protection : étanchéité, protection biologique, protection contre les projectiles d'origine interne, etc. Les structures de génie civil du second niveau de protection protègent le circuit primaire, le combustible nucléaire entreposé dans la centrale ainsi que les autres systèmes de second niveau. Toutes ces structures sont de classe I sismique.

Systèmes

Les systèmes du premier niveau de protection assurent les fonctions suivantes :

- refroidissement du cœur (ECCS) ;
- borication du circuit primaire (injection d'acide borique) ;
- sauvegarde de l'intégrité de l'enceinte ;
- maintien de l'habitabilité de la salle de commande.

En cas d'incident d'origine externe, les systèmes du second niveau de protection assurent le refroidissement du cœur.

Équipement électrique

L'équipement électrique, de classe 1E, est soumis à un programme de qualification au cours duquel les propriétés sismiques et les facteurs environnementaux sont examinés.

Bâtiment des conteneurs de combustible usé

Le combustible usé est entreposé dans des conteneurs étanches dans le bâtiment des conteneurs de combustible usé (Spent Fuel Container Building / SCG).

Les conteneurs ont été conçus en conformité avec les exigences des normes de sûreté de l'AIEA (IAEA safety series) n° 6 TS-R-1.

Les spectres sismiques pris en considération sont ceux relatifs au site de Tihange, ce qui signifie que les conteneurs peuvent également être utilisés à Tihange. Les valeurs applicables – accélération horizontale de 0,17 g, accélération verticale de 0,11 g – sont supérieures à celles nécessaires pour le site de Doel.

2.1.2.2. Principales dispositions d'exploitation

Instructions post-séisme

Sur le site de Doel comme à Tihange, le guide EPRI (Electric Power Research Institute), a été utilisé pour définir, après un tremblement de terre, les conditions de mise à l'arrêt, les conditions de redémarrage et les actions à long terme à prendre afin de garantir que l'unité puisse continuer à fonctionner avec le niveau de sûreté requis par les bases de conception. Comme le requiert la réglementation (10 CFR 100), les sites sont équipés d'une instrumentation adéquate, qui permet d'évaluer rapidement l'intensité du séisme et de décider si la centrale peut continuer à fonctionner de façon sûre.

Les procédures d'intervention post-séisme sur le site de Tihange 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 échelonnées dans le temps. Doel 1/2 et Doel 3 et Doel 4 disposent d'une procédure spécifique « Actions post-séisme » qui s'inspire du 10 CFR 50, Annexe S (92) et des guides EPRI.

Les consignes sont décrites dans des procédures dépendant de l'état initial de l'unité lors de la survenance de l'incident. 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 de quart sont formées à l'utilisation de ces consignes post-accidentelles.

Plan d'urgence interne

Les centrales nucléaires de Doel et de Tihange ont un plan d'urgence interne qui offre suffisamment de flexibilité pour faire face à tout incident susceptible de menacer la sûreté des installations ou la sécurité des personnes, ou susceptible d'avoir un impact sur l'environnement.

Procédures de conduite

L'objet de ces procédures de conduite est de donner les règles élémentaires de bonne pratique afin de contrôler/éliminer les interactions sismiques temporaires lors de chaque intervention. Le personnel est formé à faire particulièrement attention à ne pas remettre en cause la qualification sismique des équipements en modifiant leur environnement :

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

Les surveillants de conduite, dans le cadre de leurs rondes journalières, s'assurent également qu'aucun matériel installé/disposé à proximité d'un équipement de sûreté ne peut l'affecter, par sa chute, son effondrement, son déplacement ou son basculement.

Équipements mobiles

Doel et Tihange sont en mesure de faire face au DBE sans avoir à utiliser des équipements mobiles. Néanmoins, l'exploitant garde un certain nombre d'équipements en réserve dans le but de limiter le risque résiduel dans le cas improbable d'une défaillance des systèmes de sûreté du premier et du second niveau :

- câbles d'alimentation électrique ;
- compresseur mobile ;
- pompe diesel mobile.

2.1.2.3. Effets indirects des séismes pris en compte à la conception

Centrale nucléaire de Tihange

Les études menées dans le cadre d'une évaluation des marges sismiques (seismic margin assessment / SMA) montrent que les systèmes mentionnés aux paragraphes précédents permettent l'arrêt de l'unité dans les scénarios suivants :

- une rupture de barrage induite par un séisme ;
- un tremblement de terre combiné avec la perte des alimentations électriques extérieures (LOOP).

Ils permettent également, pour chacun de ces scénarios, d'assurer la gestion d'une inondation interne consécutive à un séisme.

Inondation interne

Durant la deuxième révision périodique de sûreté (1995), une étude a été menée pour analyser les effets d'une inondation interne dans les bâtiments contenant des équipements de sûreté. Des inspections SQUG (Seismic Qualification Utility Group) ont été organisées pour la tuyauterie non classée (conduites de moyenne énergie) afin de s'assurer que les tuyauteries ne rompraient pas suite à un séisme DBE.

Le bâtiment N de Tihange 1, les bâtiments Z, P, O, B, D, N, W, les galeries K, BAE, GDS/GDR à Tihange 2 et les bâtiments BAE, W, K, B, P et les galeries à 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 en conclure que, pour les bâtiments inspectés selon la méthode SQUG, une inondation interne consécutive à un séisme ne représenterait aucun risque. Pour les autres bâtiments, le scénario 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 de quart de réagir rapidement afin d'éviter l'endommagement d'équipements importants.

Inondation externe

Une évaluation des inondations potentielles a été réalisée sur le site de Tihange, en prenant en compte les sources d'inondation situées hors des locaux : aéroréfrigérants, réservoirs, circuit CEC, etc.

La rupture de chacun de ces équipements a été analysée. Pour le cas spécifique de la chute du packing² des tours de refroidissement, un débit de débordement par le CEC de l'ordre les 2 m³/s a été étudié (chute partielle de packing). Aucun de ces cas ne pose un problème de sûreté.

Ces conclusions ont été réutilisées et deux hypothèses supplémentaires ont été ajoutées :

- la rupture simultanée de tous les équipements (bâches d'eau, bâches de gazole) ne résistant pas au DBE ;
- la chute de tous les packings au pied des tours de refroidissement, ce qui induit un débordement de 50 % du débit nominal du CEC.

Effets de la rupture simultanée des bâches d'eau

Toutes les bâches présentant un risque de rupture sont situées à l'extérieur des bâtiments. L'eau s'échappant de ces bâches en cas de rupture suivra la pente du terrain et s'éloignera des bâtiments par les canaux de drainage et les caniveaux.

L'eau sera très vite évacuée par le réseau d'égout dont la capacité est de 540 m³/ha/h (150 l/ha/s). L'eau ne pourra donc atteindre 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 ne sera impacté par la rupture de ces bâches.

Effets de la rupture simultanée des bâches de gazole

Les deux bâches de gazole sont disposées dans un encuvement en béton. Même si les bâches sont fissurées par le tremblement de terre, ces réservoirs ralentiront considérablement la dispersion du gazole libéré.

Effets de la chute du packing sur les trois unités

En 2002, deux des multiples poutres en béton supportant le packing de la tour de refroidissement de l'unité Tihange 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 a débordé du bassin au lieu de retourner en Meuse. Une grande quantité d'eau s'est déversée sur le site.

Suite à cet incident, la conception du packing a été revue sur Tihange 2 et Tihange 3. Sur la base du retour d'expérience de l'incident de 2002, le débit de débordement est estimé de manière conservative à 50 %.

Impact sur le site

A Tihange 1, la chute du packing est sans effet car le muret autour du bassin de la tour de refroidissement 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 importants pour la sûreté. Sur Tihange 2 et Tihange 3, 50 % du débit nominal du circuit CEC débordent du bassin en moins d'une minute et commencent à inonder le site. Le niveau d'eau peut varier entre 15 cm et 25 cm. Cela signifie que Tihange 2 et Tihange 3 sont entourées d'eau sauf au nord, face à la Meuse.

Impact sur les unités

Les infiltrations d'eau 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 espaces libres et passages dans les murs, etc.). L'analyse est menée en tenant compte du fait que les pompes CEC seront raisonnablement arrêtées 30 minutes après la chute du packing.

Tihange 1

Tihange 1 sera la dernière touchée, celle-ci étant plus éloignée des réfrigérants de Tihange 2 et Tihange 3, et ne devrait être concernée que pour une très courte durée. Il est estimé que les groupes générateurs diesels de l'unité seront noyés. Ce seront les seuls équipements affectés. Avec les

² Le packing désigne les modules de dispersion de l'eau dans 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.

alimentations électriques externes non endommagées, tous les composants continueront d'être alimentés et seront disponibles, en particulier ceux qui sont nécessaires à un arrêt stable et contrôlé du cœur et au refroidissement de la piscine. Les conséquences sont identiques en période d'arrêt.

Tihange 2

Les premiers bâtiments à recevoir des quantités significatives d'eau seront la salle des machines et le BAN-N.

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. Les équipements du BUS seront dans tous les cas 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 Tihange 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.

Grâce à leur localisation le long 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 d'agression directe de l'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 sûreté du premier ou du second 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 du temps, un grand nombre d'agents est présent sur le site, et le débordement du réservoir de la tour sera très rapidement signalé puis arrêté (une alarme de niveau du réservoir est également disponible).

Tihange 3

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 les 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 d'eau dans le bâtiment DE d'entreposage de combustible usé viendront de l'extérieur et de sa communication avec le bâtiment PHI. 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 avant découverte des éléments combustibles, même si les pompes sont arrêtées et qu'aucune action n'est entreprise.

Les pompes CEB, les pompes EAA, le réservoir EAA, les GDS et les équipements principaux de 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 Tihange 1 et Tihange 2, les équipements encore disponibles permettront de maintenir un refroidissement efficace et illimité dans le temps par les équipements des premier et second niveaux de protection. En arrêt de tranche, l'analyse est identique à celle de Tihange 2.

Mesures prévisibles pour augmenter la robustesse du site

Même si cet événement majeur mais improbable n'a pas de sérieuses conséquences, les actions suivantes sont entreprises pour Tihange 2 et Tihange 3 :

- modification des procédures de gestion en cas de séisme afin d'envoyer très rapidement un agent pour vérifier si la tour de refroidissement déborde. Dans ce cas, les pompes CEC seront rapidement arrêtées ;
- étude de la pertinence d'un arrêt automatique d'une des deux pompes CEC en cas de niveau élevé dans le bassin d'une tour de refroidissement.

Accès au site et accès aux bâtiments et zones

Divers chemins d'accès à la salle de commande après un séisme sont identifiés : 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 sont possibles.

Les bâtiments concernés étant de conception sismique, les chemins d'accès qui doivent être empruntés après un séisme ont été conçus de manière à garder l'accès libre après un séisme.

Centrale nucléaire de Doel

Interactions entre structures, systèmes et composants

Les structures, systèmes et composants qui ne sont pas à même de résister au DBE pourraient endommager d'autres SSC assurant une fonction de sûreté.

Pour cette raison, des visites SQUG ont été organisées dans le cadre des révisions périodiques de sûreté des quatre unités de Doel dans tous les bâtiments où des équipements de sûreté sont présents. Lorsque nécessaire, les équipements qui ne résistaient pas au DBE ont été retirés ou qualifiés au séisme.

Inondation interne

Durant la dernière 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 inspections SQUG ont été organisées pour les tuyauteries non classées (conduites de moyenne énergie) pour s'assurer que les tuyauteries ne rompraient pas suite à séisme DBE.

Ces inspections SQUG se sont déroulées dans les bâtiments suivants :

- Doel 1/2 : GNS, TUR 1/2, BAR, MWP, GNH. Il n'y a pas eu d'inspection SQUG dans les MAZ et GMH, mais il y a eu une étude relative à l'inondation interne ;
- Doel 3 et Doel 4 : GEH, BKR, GMH. Il n'y a pas eu d'inspection SQUG dans les GVD et GNH, mais il y a eu une étude relative à l'inondation interne.

Dans les bâtiments où une inspection SQUG a eu lieu, les équipements de sûreté ne sont pas exposés à une inondation interne potentielle qui résulterait d'un tremblement de terre. Dans les autres bâtiments, des mesures ont été prises pour protéger les équipements de sûreté contre une inondation consécutive à la rupture d'une tuyauterie.

Inondation externe

Le risque d'inondation a également été largement examiné, en tenant compte de toutes les sources possibles à l'extérieur des bâtiments : tours de refroidissement, réservoirs, etc. Des mesures préventives ont déjà été prises dans le cadre de la révision périodique de sûreté (thème B4). L'analyse des conséquences de ce type d'inondation montre que les risques sont totalement couverts par les mesures et procédures prévues lors de la révision périodique de sûreté.

Accès au site et accès aux bâtiments et zones

Il y a deux routes d'accès au site de Doel. Un hélicoptère est disponible au cas où les accès routiers seraient tous deux bloqués. Un accès est également possible par l'Escaut, via un quai d'accostage à la prise d'eau de Doel 1/2.

Sur le site, toutes les entrées des salles de commande et des salles de commande de secours ont été vérifiées. Sur les unités Doel 1/2, la salle de commande n'est pas située dans un bâtiment classé sismique de classe 1. Vu le nombre de possibilités d'accès, on peut présumer que la salle de commande reste accessible.

Sur les unités Doel 3 et Doel 4, la salle de commande est située dans un bâtiment qualifié au séisme, ce qui signifie que l'accès n'est pas compromis en cas de tremblement de terre.

Les salles de commande d'ultime secours des quatre unités sont toutes accessibles par au moins deux voies différentes.

Les camions des services d'incendie disposent d'équipements pour dégager de petits obstacles de façon à se frayer un passage à travers une clôture, etc.

On a également tenu compte de la possibilité que le tremblement de terre puisse entraîner le rejet d'un nuage de gaz toxique à l'extérieur du site. Pour cette raison, les salles de commande normales sont équipées d'un système de détection qui isole automatiquement la salle de commande de l'air extérieur. Des masques faciaux à cartouche filtrante sont également prévus, ainsi que des bouteilles d'oxygène pour les équipes de quart et les cadres d'astreinte.

Sur les unités de Doel 1/2, des bouteilles d'oxygène sont également à disposition dans la salle de commande d'ultime secours.

2.1.3. Conformité des centrales avec leur autorisation actuelle

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

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.

Les spécifications techniques (chapitre 16 du rapport de sûreté) décrivent 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 associés – en cas d'indisponibilité des équipements. De plus, le programme d'essais périodiques menés sur ces systèmes décrit les mesures de surveillance appliquées aux équipements classés. Il s'agit plus particulièrement des tuyauteries, réservoirs, vannes et pompes, y compris leurs supports et amortisseurs.

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

Les divers scénarios 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 scénarios hors conception, situations où se produiraient, par exemple, des chutes de gravats ou de tuyauteries.

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

Des équipements spéciaux sont prévus sur le site même dans le but de permettre la réalisation des procédures d'urgence (hors conception). Ces équipements sont vérifiés périodiquement.

2.1.3.3. Déviations potentielles par rapport au référentiel et actions correctives

Lors des essais et des inspections décrites ci-dessus, des non-conformités peuvent être constatées. Dans le cas où elles sont suffisamment importantes pour que l'équipement sorte de ses critères de conception, le rapport de sûreté décrit les délais d'intervention et les mesures à prendre. Dans certains cas particuliers, des justifications de poursuite d'exploitation (justifications for continued operation / JCO) sont rédigées par l'exploitant et soumises à l'approbation de l'Autorité de sûreté. Ces documents

démontrent que la non-conformité (partielle) d'un équipement aux règles ne met pas en danger la fonction de sûreté si les mesures temporaires recommandées sont mises en application.

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 ».

Pour le site de Doel, les écarts suivants par rapport à la base de conception des équipements n'ont pas encore été résolus (situation au 30/06/2011). Cependant, aucun de ces écarts ne met en danger le bon fonctionnement des équipements.

- Doel 1/2 : aucun écart ;
- Doel 3 et Doel 4 : selon les conclusions de la révision périodique de sûreté (thème A4), les ponts polaires des bâtiments réacteurs doivent être équipés d'un dispositif d'arrêt d'urgence classé sismique sur le plan de travail. Ce n'est pas encore le cas ; il n'y a un dispositif d'arrêt d'urgence classé sismique que dans la cabine du pont.

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

Après les événements de Fukushima, une vérification spécifique a eu lieu afin de contrôler que la centrale respectait bien les exigences actuelles de l'autorisation d'exploitation.

Pendant cette vérification, on a pensé qu'il était recommandé d'augmenter le niveau de qualification des circuits de refroidissement de la piscine de désactivation à 0,17 g pour Tihange. Les études et modifications nécessaires ont été réalisées avant le 30 juin 2011.

En outre, après l'accident à la centrale nucléaire de Fukushima, le site a également organisé une révision spécifique de fiabilité : SOER 2011-2 de WANO. Celle-ci concerne la vérification :

- des mesures visant à limiter les effets des accidents hors conception ;
- de la conformité de l'installation à sa base de conception pour 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 causés par un tremblement de terre.

Aucun écart du point de vue de la conception sismique n'a été identifié sur les sites de Tihange et de Doel lors de ces vérifications.

2.2. Évaluation des marges de sûreté

2.2.1. Niveaux de séismes menant à des dommages graves du combustible - Description de la méthodologie SMR

2.2.1.1. Marges de sûreté à la conception des centrales nucléaires

Les centrales nucléaires ont été conçues selon des codes et des réglementations strictes. Leur dimensionnement inclut des marges intrinsèques à chaque étape du processus de conception. À titre d'illustration, voici quelques exemples des conservatismes introduits dans les études de conception sismique :

- les spectres de réponse sismiques 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 qui est conservatrice par rapport au comportement réel de ces équipements. L'amortissement du sol est moindre que dans la réalité et les spectres de réponses calculés aux différents niveaux du bâtiment sont élargis ;
- la réponse des équipements est déterminée avec un amortissement moindre que dans la réalité ; les méthodes de calcul introduisent de nouveaux conservatismes ;
- la réserve de ductilité n'est pas prise en compte lors de la vérification de la tenue structurelle. Les valeurs minimales garanties des propriétés des matériaux sont utilisées. Les codes de construction requièrent également des combinaisons de cas de charge conservatives.

Ces conservatismes utilisés pour la conception ont un effet cumulatif qui entraîne des marges de sécurité généralement très importantes. À titre d'exemple, les tuyauteries des centrales nucléaires sont très ductiles et peuvent se déformer de manière très importante avant que n'apparaisse une 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 effectivement requises.

Les marges sismiques intrinsèques des centrales nucléaires sont donc généralement très importantes.

Bien que respectant tous les codes et normes de conception, certains équipements peuvent présenter 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 depuis, comme Tihange 1 et Doel 1/2. Pour répondre de manière circonstanciée, il est nécessaire d'examiner chaque structure, système ou composant de l'installation nucléaire impliqué dans la mise à l'arrêt stable et contrôlé après un tremblement de terre.

2.2.1.2. Méthodologie d'évaluation de la marge sismique

Une évaluation des marges sismiques des trois unités de Tihange et des quatre unités de Doel a été réalisée. Cette évaluation est basée sur deux éléments principaux :

- une analyse de la tenue des structures, systèmes et composants subissant un séisme plus élevé que le séisme de conception actuel des unités. Elle utilise les analyses sismiques disponibles et les résultats d'inspections SQUG antérieures.
- une nouvelle revue de la marge sismique (seismic margin review) (en utilisant une méthodologie dérivée de la méthodologie SMA) basée sur le jugement d'ingénieurs expérimentés, y compris d'éminents experts internationaux possédant nombre de références dans ce domaine. En particulier, ces experts ont inspecté lors de walkdowns les SSC nécessaires à un arrêt stable et contrôlé pour toutes les unités réacteurs de Doel et Tihange.

L'évaluation de la marge sismique (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 d'événements réels constitue la base de connaissances du comportement des équipements en cas de séisme. Cette base nourrit l'écriture de guides précis d'inspection des sites. Les études SMA sont dès lors utilisées pour démontrer qu'une centrale nucléaire est à même de supporter un séisme bien plus important que celui considéré à la conception. La méthode SMA a été appliquée à de nombreuses centrales nucléaires dans le monde pour démontrer que les risques sismiques examinés antérieurement étaient acceptables, moyennant de possibles renforcements des équipements à faible marge.

La revue de la marge sismique (SMR, basée sur la méthodologie SMA) pour les centrales nucléaires belges comprend les phases suivantes :

- examen de la base de conception sismique et des documents de conception :
 - données et résultats des études de stabilité de sol et des fondations des bâtiments ;
 - résultats des analyses sismiques des structures d'origine et résultats de réévaluation (analyses, essais sur table vibrante, etc.) ;
 - résultats de l'analyse SMA préliminaire menée pour Tihange 1 et Doel 3 dans le cadre d'une révision périodique de sûreté ;
- revue de la stratégie d'arrêt stable et contrôlé ;
- établissement et passage en revue de la liste des SSC nécessaires à la mise à l'arrêt stable et contrôlé pour chaque unité. Cette liste a été complétée avec les SSC nécessaires au refroidissement de la piscine de désactivation ;
- revue du spectre RLE développé par l'exploitant ;
- inspection de ces SSC pour évaluer leur comportement pendant un séisme de niveau RLE. Ces inspections ont déjà été réalisées dans chacun des bâtiments des différentes unités de Doel et de Tihange qui sont accessibles pendant le fonctionnement en puissance. Pour les bâtiments non accessibles (par exemple les bâtiments des réacteurs), ces inspections seront réalisées lors d'un futur arrêt planifié de ces unités ;
- de plus, les conclusions de la première équipe d'experts ont été vérifiées par une autre équipe d'experts reconnus au niveau international. Cette vérification supplémentaire a pour résultat un très haut degré de fiabilité des résultats.

Ces inspections couvrent les SSC identifiés comme nécessaires en cas de séisme pour permettre un arrêt stable et contrôlé à partir des états initiaux suivants :

- fonctionnement en puissance ou arrêt à chaud (générateurs de vapeur disponibles) ;
- arrêt à froid (générateurs de vapeur indisponibles) ;
- cœur complètement déchargé en piscine de désactivation.

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 qui pourraient compromettre l'intégrité structurelle du bâtiment ;
- vérifier les joints de dilatation entre bâtiments/structures ;
- identifier les risques d'impact potentiel des bâtiments/structures adjacents ;
- identifier les chargements sismiques et les modes de défaillance potentiels en se basant sur une évaluation détaillée des plans des bâtiments, y compris les détails et calculs de conception.

Pour ce qui concerne l'équipement électrique et mécanique, les inspections suivantes ont été réalisées :

- évaluation suivant les directives EPRI NP-6041,
- évaluation de la capacité de l'équipement qui doit continuer à fonctionner après un séisme RLE. Il convient de noter que l'accélération minimale pour laquelle la résistance de

l'équipement est évaluée selon EPRI-NP-5041 s'élève à 0,3 g, indépendamment de la valeur du RLE pour les fréquences plus élevées (0,17 g dans le cas de Doel),

- vérification de l'ancrage,
- vérification des possibles interactions avec les équipements voisins,
- évaluation des possibles conséquences indirectes d'un séisme, telles que l'inondation interne ou externe.

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

- 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) ;
- 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 valider un classement « High » sans données et calculs complémentaires ;
- 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).

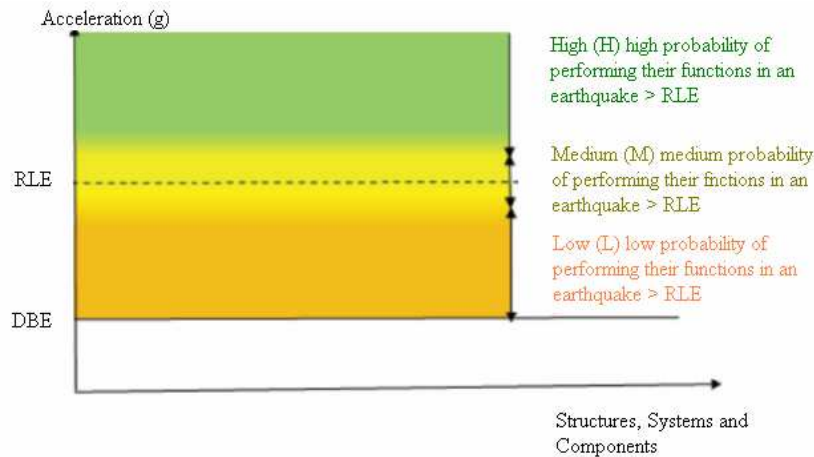


Figure 7 : Classification des SSC en catégorie High, Medium, et Low

L'évaluation des marges est réalisée en se référant au RLE. Tous les SSC nécessaires à un arrêt stable et contrôlé sont et demeurent classés pour le DBE. Ce classement des composants sismiques fournit une image générale de la capacité des composants de l'installation par rapport au RLE. Comme le montre la Figure 7, les éléments classés « Low » peuvent présenter une capacité proche du RLE, qui ne peut cependant pas être démontrée par l'inspection. Une évaluation détaillée (par calculs 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.

2.2.1.3. Choix du Review Level Earthquake

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 SMA.

Le choix a été fait sur la base des éléments ci-après :

- le guide européen pour les nouvelles centrales nucléaires (European Utility Requirements) recommande un ratio de 1,4 entre les accélérations au sol dues au RLE et celles dues au DBE ; d'autres guides internationaux (AIEA) évoquent des ratios allant de 1,5 à 1,66 ;
- un spectre sismique représentatif des conditions du site ;
- la nouvelle étude probabiliste du risque sismique menée par l'Observatoire Royal de Belgique. Cette étude considère les données sismiques les plus récentes.

Centrale nucléaire de Tihange

L'analyse a conduit à la définition du spectre RLE présenté dans le diagramme ci-après. La réponse maximale est de 0,6 g pour des fréquences inférieures à 12 Hz. Pour des fréquences plus élevées, l'accélération maximale au niveau du sol est de 0,3 g. Cela correspond à un séisme d'une magnitude supérieure à 6,5 sur l'échelle de Richter.

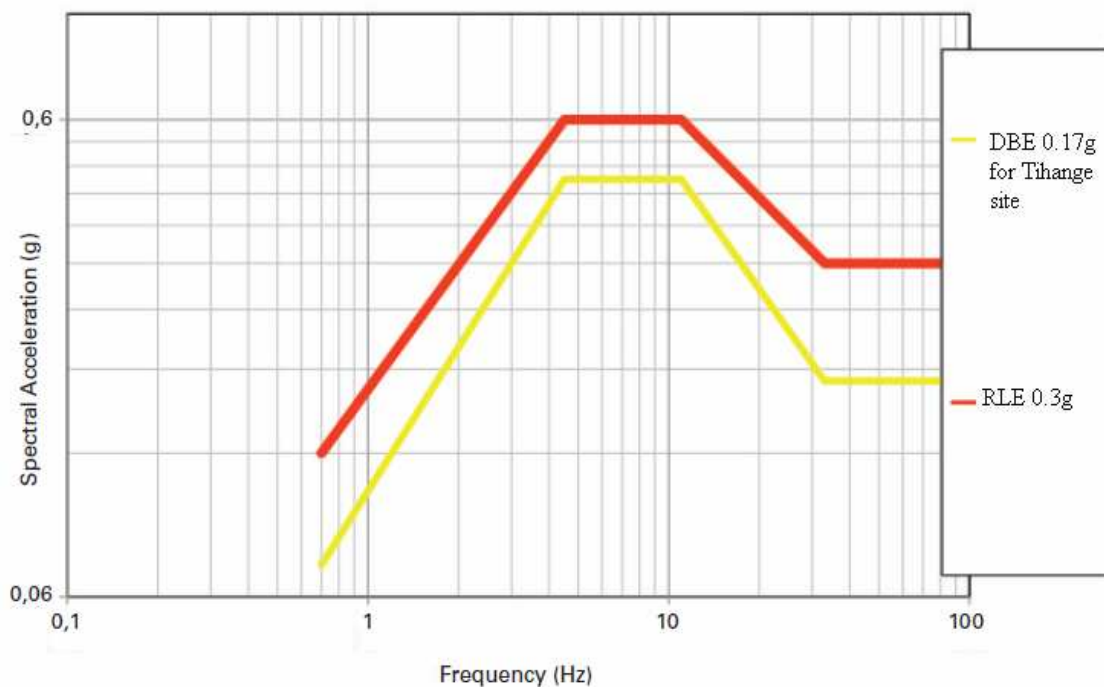


Figure 8 : Comparaison entre le spectre RLE et le spectre DBE de Tihange

Cette valeur de RLE (PGA de 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 (PGA de 0,21 g au niveau de la roche mère).

Centrale nucléaire de Doel

L'analyse a conduit à la définition du spectre RLE présenté dans le diagramme ci-après.

La réponse maximale est de 0,42 g pour des fréquences inférieures à 5 Hz. Pour des fréquences plus élevées, l'accélération maximale au niveau du sol est de 0,17 g, une valeur qui se réfère aux premiers résultats conservatifs de l'étude de l'ORB (pour le séisme d'une période de retour de 10 000 ans). Ceci correspond à un séisme d'une magnitude supérieure à 6,5 sur l'échelle de Richter.

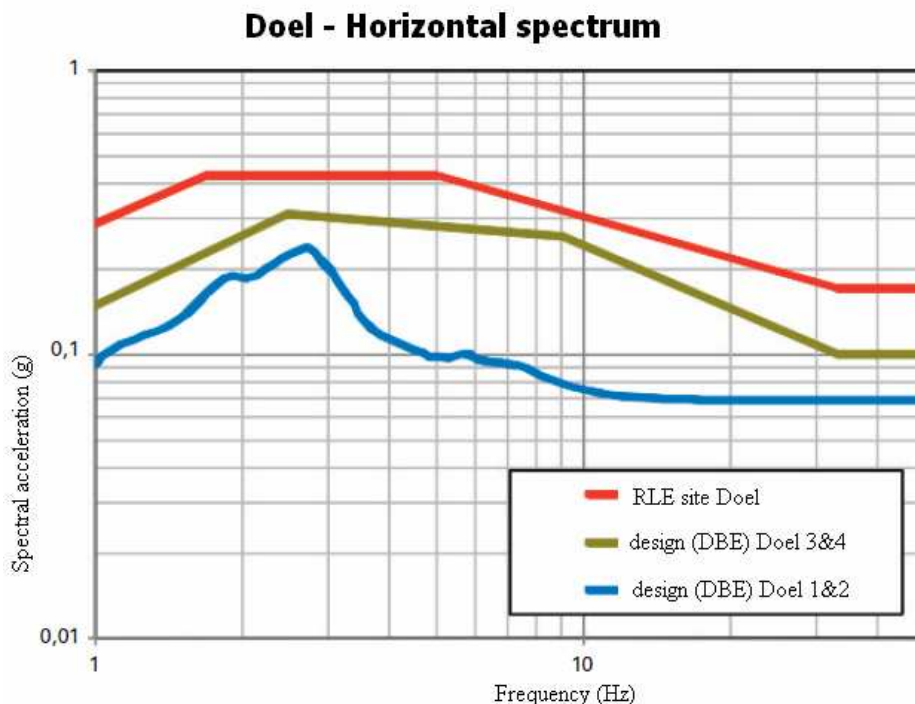


Figure 9 : Comparaison entre le spectre RLE et le spectre DBE de Doel

2.2.1.4. Résultats de la revue de la marge sismique (SMR) - Points faibles

Le tableau ci-après donne un aperçu général de la classification des SSC nécessaires en cas de séisme pour permettre un arrêt stable et contrôlé :

Tableau 7 : Résultats de la SMR pour les différentes unités : Pourcentage de SSC ayant une probabilité « High », « Medium » ou « Low » de préserver leur intégrité et d'assurer leur fonction en cas de séisme excédant le RLE

Marge SMA Classement	Tihange 1	Tihange 2	Tihange 3	Doel 1/2	Doel 3 et Doel 4
High	43 %	78 %	75 %	88 %	76 %
Medium-High ³	34 %	2 %	2 %	-	-
Medium	16 %	14 %	20 %	6 %	23 %
Low	5 %	4 %	-	< 1 %	< 1 %
Autre (Medium) ⁴	2 %	3 %	3 %	5 %	-

Des résultats plus détaillés des différentes unités sont décrits ci-après.

³ Principalement des armoires électriques qui n'ont pas pu être inspectées pendant le fonctionnement en puissance et qui ont été jugées par transposition d'autres armoires électriques de conception identique. Les études en cours montrent qu'une majorité de ces SSC seront en définitive classés « High » (H) ;

⁴ Ces éléments n'ont pas pu être inspectés et ont été jugés au cas par cas sur la base des données disponibles telles que les fichiers du constructeur, les notes de conception, les feuilles de calcul, le retour d'expérience internationale, etc. Ces composants sont évalués de manière conservatrice en « Medium » (M).

Centrale nucléaire de Tihange

Site de Tihange

Selon les experts internationaux qui ont réalisé la revue de marge sismique pour un RLE caractérisé par une PGA de 0,3 g, les conclusions suivantes peuvent être tirées : «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 Tihange 3) n'ont révélé aucune préoccupation sismique majeure. Nous estimons que ces unités pourraient aisément prouver qu'elles peuvent résister à un RLE. »

Des études du sol à Tihange ont été effectuées par des experts français. Elles ont 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.

Tihange 1

À Tihange 1, 21 SSC ont été classés « Low » et sont donc considérés comme ayant une faible probabilité de résister à un séisme supérieur au RLE. Ces composants pourraient fort bien être classés dans la catégorie « High » en procédant à des calculs plus précis ou à de simples modifications. Des études complémentaires sont en cours pour confirmer la faisabilité de ces modifications.

Tableau 8 : Liste des SSC classés dans la catégorie « Low » 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 principal de distribution
TAM8/S1	Tableau principal de distribution
TR2/S1	Transformateur 6 kV-380 V
TR3/S1	Transformateur 6 kV-380 V
PDT/UR1	Tableau de transfert
PDT/UR2	Tableau de transfert
TAM1/S2	Tableau principal de distribution
TAM8/S2	Tableau principal de distribution
TR2/S2	Transformateur 6 kV-380 V
TR3/S2	Transformateur 6 kV-380 V
PCT1-SCS	Filtre
PCT1-SCS	Filtre
PCT1-VLE-F13AV	Filtre
PCT1-VLE-Q02AC1	Échangeur
PCT1-VLE-Q04AC1	Échangeur

Le bâtiment des auxiliaires électriques (BAE), classé initialement dans la catégorie « Low » (L) lors des walkdowns, a maintenant été reclassé dans la catégorie « Medium » (M) par des experts indépendants après une 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 ne conduirait pas à un endommagement important du bâtiment.

Les résultats de cette étude SMR sont complétés par la réévaluation du comportement de composants et supports du circuit primaire en cas de séisme. Ceci a été réalisé par le biais d'une SMA préliminaire dans le cadre de la dernière révision périodique de sûreté. Il a été conclu que ces équipements bénéficient d'une marge importante par rapport au séisme DBE. Selon la SMA préliminaire, sur la base du RLE (PGA de 0,3 g), les composants du circuit primaire et leurs supports sont suffisamment robustes et ne nécessitent pas de réévaluation particulière.

Tihange 2 et Tihange 3

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 ont une très forte probabilité de conserver leur intégrité et leur fonction après un séisme supérieur au niveau du RLE. Concernant les composants mécaniques et électriques, aucune faiblesse significative n'a été identifiée. Il convient de noter cependant que certains composants présentent des marges moins élevées : 3 équipements ont été évalués « Low » à Tihange 2 (deux d'entre eux pour des raisons d'interaction avec d'autres équipements non sismiques).

Tableau 9 : Liste des SSC classés dans la catégorie « Low » à Tihange 2

Équipement	Type d'équipement
PCT2-CEG-Z01	Unité de refroidissement
PCT2-CSC-A02B	Ventilateur
PCT2-CTP-B02R	Réservoir

Les résultats de cette étude SMR sont complétés par la réévaluation du comportement de composants et supports du circuit primaire en cas de séisme. Ceci a été réalisé par le biais d'une SMA préliminaire dans le cadre de la dernière révision périodique de sûreté. Il a été conclu que ces équipements bénéficient d'une marge importante par rapport au séisme de niveau DBE. Selon la SMA préliminaire, sur la base du RLE (PGA de 0,3 g), les composants du circuit primaire et leurs supports sont suffisamment robustes et ne nécessitent pas de réévaluation particulière.

Centrale nucléaire de Doel

Site de Doel

Selon les experts internationaux qui ont réalisé la revue de marge sismique pour la centrale nucléaire de Doel, les conclusions suivantes peuvent être tirées : « *Les inspections des plus anciennes unités (Doel 1/2) 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 (Doel 3 et Doel 4) n'ont révélé aucune préoccupation sismique majeure. Nous estimons que ces unités pourraient aisément prouver qu'elles peuvent résister à un RLE.* »

Des études du sol à Doel ont 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 Doel, c'est-à-dire aucun risque de glissement de terrain.

Doel 1/2

Un seul composant est classé « Low » (L). Il s'agit d'une vanne dans la ligne d'injection aux joints d'une pompe primaire. Il a été remédié à ce défaut lors de l'arrêt de Doel 1 en novembre 2011.

Le pont pour piétons vers le GNS est un point faible qui peut être amélioré. Le pont est l'une des deux possibilités pour passer de la salle de commande principale à la salle de commande d'ultime secours située dans le GNS. Le pont passe par le toit du GNH, dont une partie a été classé « Low » (L).

Un certain nombre d'études complémentaires conduit aux conclusions suivantes :

- Les fondations des bâtiments réacteurs et du GNS peuvent être considérées comme étant représentatives du type de fondations des différents bâtiments à Doel 1/2. Un examen détaillé montre que les pieux de fondations peuvent résister à un séisme de niveau RLE.
- Les composants et supports du circuit primaire ont également été réévalués lors de la dernière révision périodique de sûreté (précédant la SMA). Une évaluation supplémentaire a été menée selon la méthode SMA et a confirmé que ces composants peuvent résister au RLE.
- Les mécanismes de commande des grappes de contrôle du réacteur (control rods drive mechanisms / CRDM) ont été évalués de manière ad hoc. Une marge supérieure au niveau RLE a été constatée.

Doel 3 et Doel 4

Un seul composant a été classé au niveau « Low » (L). Il s'agit d'une cheminée de ventilation dont le support est inadéquat. Il est possible de remédier à ce défaut à court terme.

Les composants et supports du circuit primaire ont également été réévalués lors de la dernière révision périodique de sûreté (précédant la SMA). Une évaluation supplémentaire a été menée selon la méthode SMA et a confirmé que ces composants peuvent résister au RLE.

2.2.1.5. Mesures visant à accroître la robustesse

Centrale nucléaire de Tihange

A Tihange 1, 21 SSC ont été classés « Low » et sont donc considérés comme ayant une faible probabilité de résister à un séisme supérieur au RLE. Ces composants pourraient fort bien être classés dans la catégorie « High » moyennant des calculs plus précis ou des modifications simples. D'autres études sont en cours pour confirmer la faisabilité de ces modifications.

A Tihange 2, trois équipements ont été classés « Low ». De la même façon que pour Tihange 1, les améliorations possibles seront évaluées au cas par cas. Une analyse détaillée de chaque cas permettra d'évaluer quelle est la meilleure amélioration à mettre en œuvre si nécessaire.

En règle générale, ces résultats ne montrent pas de risque significatif de défaillance des équipements. En fait, les points d'amélioration 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 de la sûreté mais seront réalisées de manière à mettre l'installation en conformité vis-à-vis de ces résultats.

En conclusion, la revue de la marge sismique (SMR) 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 forte intensité.

Centrale nucléaire de Doel

À Doel 1/2, seul un composant a été classé « Low » (L). Ce composant est adapté durant l'arrêt pour révision en novembre 2011.

Le pont pour piétons vers le GNS de Doel 1/2 constitue toujours un point faible. Une instruction destinée aux opérateurs doit être ajoutée aux procédures existantes. Si l'équipe de quart veut passer de la salle de commande principale à la salle de commande d'ultime secours située dans le GNS, le groupe devra se diviser et suivre les deux voies d'accès parallèles. Cela permet qu'un nombre minimum d'agents soit rapidement sur place pour reprendre la conduite des réacteurs de Doel 1/2 depuis la salle de commande d'ultime secours.

Pour les bâches RWST de Doel 1/2 et leurs tuyauteries, une vérification sera également effectuée pour établir si elles résistent au niveau RLE. Comme ces équipements peuvent faciliter le maintien du

réacteur dans un état d'arrêt stable et contrôlé, ils seront, si nécessaire, adaptés dans une logique de défense en profondeur pour assurer qu'ils puissent résister au RLE.

À Doel 3 et Doel 4, un seul composant est classé « Low » (L). Ce composant sera adapté à court terme.

En conclusion, la revue de la marge sismique (SMR) réalisée n'a pas mis en évidence de lacune mettant en péril la sûreté des installations. Toutes les unités sont en mesure de résister au RLE, une secousse sismique intentionnellement plus élevée que le séisme de conception.

2.2.2. Intensité sismique conduisant à la perte d'intégrité du confinement

2.2.2.1. Introduction

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

Centrale nucléaire de Tihange

Enceinte primaire (interne) de Tihange 1, Tihange 2 et Tihange 3

L'enceinte primaire est composée 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 internes contiennent des voiles armés épais 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'annexe A du NP-6041, ce qui leur confère une faible probabilité de défaillance avec un haut degré de confiance (high confidence of low probability of failure / HCLPF) bien au-delà de 0,3 g en termes de PGA.

Enceinte secondaire (externe) de Tihange 1, Tihange 2 et Tihange 3

L'enceinte externe 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.

Fondations

Les deux enceintes sont fondées sur un radier général commun ancré profondément dans un sol très ferme (schiste altéré). Cette fondation ne présente pas de 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.

Tenue des pénétrations mécaniques

La tenue des pénétrations mécaniques est tributaire des actions inertielles et des déplacements différentiels.

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, par exemple, 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.

Centrale nucléaire de Doel

Doel 1/2

Enceinte primaire (interne) et fondations

L'enceinte primaire est composée d'une sphère en acier reposant sur la base en béton des structures internes. La sphère absorbe la pression primaire et la charge sismique. La sphère en acier, qui n'est elle-même pas soumise à une charge élevée, est caractérisée par un rapport favorable rigidité/masse, qui la rend résistante à un séisme plus puissant que le séisme de référence (DBE).

La zone la plus fortement chargée de la sphère est située près des soudures sur le sas personnel. Les soudures ont été grandement renforcées. Le tablier en béton supportant la sphère en acier repose sur des pieux, dont la résistance a été calculée pour un séisme de PGA 0,17 g.

Tout ceci signifie qu'il n'y a aucun risque d'instabilité quelconque pour l'enceinte primaire en cas de séisme de 0,17 g.

Enceinte secondaire (externe)

L'enceinte secondaire est un cylindre en béton armé supportant un dôme hémisphérique, également constitué en béton armé. Toute cette structure entoure l'enceinte primaire, qui est donc protégée des accidents externes.

L'enceinte secondaire ne présente pas de vulnérabilité spécifique, pas même dans le cas de séismes excédant 0,17 g.

Tenue des pénétrations mécaniques

Le comportement des pénétrations mécaniques est tributaire des actions inertielles et des déplacements différentiels.

Dans la mesure où les enceintes intérieure et extérieure sont des entités séparées, les pénétrations entre les deux enceintes ne peuvent en aucun cas former une connexion fixe et rigide. Bien que les pénétrations soient fixées à la sphère en acier (enceinte primaire), leur second support est une suspension flexible.

L'intégrité des pénétrations est préservée à tout moment. Elle est calculée pour résister à un RLE de 0,17 g.

Doel 3 et Doel 4

Enceinte primaire (interne)

L'enceinte primaire de Doel 3 et Doel 4 est composée d'une structure en béton armé précontraint qui absorbe la pression primaire et la charge sismique. Cette enceinte cylindrique à dôme hémisphérique est recouverte d'un liner en acier pour assurer l'étanchéité.

Structurellement, ces enceintes correspondent aux descriptions de celles analysées dans l'annexe A du NP-6041, ce qui leur confère une faible probabilité de défaillance avec un haut degré de confiance (HCLPF) bien au-delà de 0,3 g en termes de PGA.

Enceinte externe (enceinte secondaire)

De même, l'enceinte secondaire de Doel 3 et Doel 4 est composée d'une structure en béton armé précontraint entourant l'enceinte primaire, la protégeant donc contre les accidents externes : crash d'un avion, tornade, explosion externe, etc. Tout comme l'enceinte primaire, l'enceinte secondaire est particulièrement résistante aux séismes, dans tous les cas supérieurs au RLE de 0,17 g retenu pour Doel.

Fondations

Les enceintes primaire et secondaire reposent sur un tablier commun supporté par un réseau de pieux. Les pieux des enceintes de Doel 3 et Doel 4 ne présentent aucun problème dans le cas d'un séisme de 0,17 g.

Tenue des pénétrations mécaniques

La tenue des pénétrations mécaniques est tributaire des actions inertielles et des déplacements différentiels.

Les enceintes ainsi que les bâtiments nucléaires adjacents étant très rigides, 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, par exemple, aux charges accidentelles de pressurisation, leur confère une résistance intrinsèque à des séismes supérieurs à 0,3 g en termes de PGA, conformément au NP-6041.

2.2.2.2. Conclusion

Centrale nucléaire de Tihange

D'un 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.

Centrale nucléaire de Doel

D'un point de vue structurel, la conception des enceintes de Doel 3 et Doel 4 correspond bien à celle du NP-6041, pour laquelle un HCLPF supérieur à 0,3 g est garanti, bien qu'avec une limitation jusqu'à un RLE de 0,17 g pour les pieux de Doel 3 et Doel 4.

La conception de Doel 1/2 est plus spécifique. L'évaluation est basée sur la documentation disponible et donne une conclusion favorable en ce qui concerne la stabilité dans le cas d'un RLE de 0,17 g.

2.2.3. Séisme excédant le séisme de conception des centrales et inondation résultante excédant l'inondation de conception

Centrale nucléaire de Tihange

Inondation par la Meuse

Le séisme excédant le DBE pris en considération pour le site de Tihange correspond au RLE caractérisé par une PGA de 0,3 g.

Un tel événement correspond à une intensité épiscopentrale de VIII sur l'échelle MSK. Pour les besoins de cette étude, ce séisme est supposé se produire à la limite de l'ensemble sismotectonique, au plus près du site, soit à 11 km au 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).

À partir de l'épicentre, on distingue :

- une première 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.

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.
- 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 la 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.

Sources d'inondation situées sur le site

Les conclusions du paragraphe 2.1.2.3 (effets indirects des séismes pris en compte à la conception) s'appliquent également à un séisme excédant le niveau de conception. Dans ce cas, les équipements affectés sont les mêmes que ceux qui ont été reconnus sensibles au DBE. Cependant, paradoxalement, les conséquences seront très probablement moins graves : le réseau extérieur étant supposé perdu, les pompes CEC auront cessé de fonctionner. Les équipements restants permettront un refroidissement efficace, non limité dans le temps, et donc un arrêt stable et contrôlé du réacteur.

En conclusion, un séisme supérieur au DBE ne peut pas entraîner sur le site de Tihange une inondation dépassant les limites de conception des installations. Aucune modification du matériel, des procédures ou de l'organisation n'est donc requise.

Centrale nucléaire de Doel

Un tsunami de 0,5 mètre est théoriquement possible dans l'estuaire de l'Escaut. Cependant, même si un séisme provoquait un tel tsunami et détruisait en même temps les berges de l'Escaut, la plate-forme (surélevée) du site de la centrale nucléaire de Doel ne serait toujours pas inondée.

Le site de Doel est situé dans l'estuaire de l'Escaut. Un tsunami (raz-de-marée) et une seiche (oscillation produite par résonance dans un bassin semi-fermé) sont des phénomènes qui peuvent être initiés par un séisme.

Tsunami et seiche

Tremblements de terre et glissements de terrain sous-marins sont cités comme causes possibles pour un tsunami en Europe. Les conditions géologiques propices ne sont cependant présentes que dans un nombre limité d'endroits. Sur la base d'un modèle de calculs, on a examiné, par exemple, quels pourraient être les conséquences potentielles d'un tsunami sur les côtes britanniques. Les pires conséquences apparaîtraient au large de la côte des Cornouailles : raz-de-marée de 0,5 m à 2 m de hauteur. La probabilité d'un vrai tsunami est considérée comme faible : de l'ordre de 10^{-2} à 10^{-4} par an. Vu la distance entre les Cornouailles et l'estuaire de l'Escaut, et la protection offerte par le littoral de l'ouest de la Normandie, les modèles montrent que le raz-de-marée serait grandement adouci au niveau de l'estuaire de l'Escaut : l'amplitude ne serait pas supérieure à 0,5 mètre.

Etant donné la géométrie complexe, il est théoriquement improbable que des seiches se produisent sur l'Escaut. Toutefois, si le phénomène apparaissait, son amplitude resterait limitée à environ dix centimètres, et une seiche perd très rapidement en intensité.

Un séisme pourrait compromettre l'intégrité des berges de l'Escaut. Cependant, à hauteur de Doel, le niveau de l'Escaut est bien en deçà de la hauteur de la plate-forme du site. Même si un séisme provoquait un tsunami (raz-de-marée) de 0,5 mètre et détruisait en même temps les berges de l'Escaut, la plate-forme du site ne serait toujours pas inondée. De plus, il convient de noter qu'un tel tsunami ne pourrait se produire que loin de Doel, ce qui signifie qu'il n'est guère probable que les berges de l'Escaut s'effondrent suite à un séisme.

Sources d'inondation sur le site

Dans la révision périodique de sûreté, une liste des sources significatives d'inondation potentielles sur le site a été établie. La liste a été complétée par une sélection basée sur le séisme de conception. Les sources d'inondation potentielles suivantes ont été identifiées :

- bassins de la tour de refroidissement de Doel 3 et de Doel 4,
- emplacements des cloisons – cloisons sur les conduites d'eau de refroidissement (CW) en contact avec l'air extérieur (ouverture à +11,08 m TAW),

- conduites d'eau de refroidissement (CW) avec des tronçons souterrains et en surface,
- réservoirs de stockage, dont certains ne sont pas classés sismiques.

En cas de séisme important, toutes ces sources d'inondation pourraient contribuer à inonder le site. Au départ, il y aurait la rupture immédiate des différents réservoirs de stockage. Les quatre groupes les plus importants de réservoirs peuvent déverser chacun plusieurs milliers de mètres cubes d'eau, soit un total de presque 13 000 m³.

Ensuite, un vaste flux d'eau se produirait depuis les bassins des tours de refroidissement et, dans une moindre mesure, également depuis les conduites d'eau de refroidissement et les cloisons. Un débit de fuite de 11 m³/s est supposé pour chacun des bassins des tours de refroidissement de Doel 3 et Doel 4. Les différentes fuites des conduites d'eau de refroidissement auraient pour résultat un débit de fuite conjoint d'environ 10 m³/s réparti sur le site. A cela s'ajoute un débit de fuite de 0,7 m³/s pour chacun des deux emplacements de cloisons.

Une analyse de la défaillance simultanée de plusieurs réservoirs et tuyauteries a mené à la conclusion que l'arrêt du réacteur dans un état stable et contrôlé ne serait pas compromis :

- À Doel 1/2, les équipements nécessaires à la mise à l'arrêt du réacteur après un séisme sont situés dans les bâtiments RGB, BAR, GNS et GNH. Dans la zone des BAR, GNS et GNH, l'arrivée d'une quantité limitée d'eau serait possible dans les bâtiments. Le BAR n'a pas de sous-sol et tous les équipements importants sont installés sur un socle, ce qui signifie que leur fonctionnement ne serait pas compromis. Les accès au GNS se situent à environ 0,8 mètre au-dessus du sol, ce qui signifie que toute arrivée d'eau est exclue ou, dans le pire des scénarios, serait très limitée. Le GNH et le GNS disposent tous deux de pompes de sûreté immergeables raccordées à l'alimentation fournie depuis le GNS, ce qui permet d'évacuer par pompage la quantité limitée d'eau qui pourrait y pénétrer.
- Sur les unités de Doel 3 et Doel 4, les bâtiments GVD et MAZ peuvent être inondés mais, à l'exception des pompes AF placées derrière des portes étanches, aucun équipement de sûreté ne s'y trouve. L'eau ne peut pas envahir les bâtiments réacteurs. Tous les autres bâtiments qui contiennent des équipements de sûreté peuvent être inondés, mais de façon très limitée. Les bunkers sont également équipés de pompes de sûreté immergeables, ce qui signifie qu'une mise à l'arrêt stable et contrôlé du réacteur est toujours possible en utilisant les équipements du bunker.

2.3. Synthèse des principaux résultats présentés par l'exploitant

Sur la base des informations présentées dans les rapports de tests de résistance de l'exploitant et des renseignements complémentaires fournis par l'exploitant lors de réunions techniques et d'inspections sur site, les principaux résultats sur le thème du risque sismique sont les suivants.

Initialement, dans les années 1970, aucun séisme n'avait été pris en compte à la conception des deux premières unités, à savoir Doel 1/2. Pour les autres unités, différentes accélérations maximales en surface (PGA) ont été retenues pour caractériser le séisme SSE (safe shutdown earthquake) : 0,10 g pour Tihange 1, Doel 3 et Doel 4 ; 0,17 g pour Tihange 2 et Tihange 3. Le PGA est la principale donnée utilisée pour caractériser le niveau sismique auquel les structures, systèmes et composants (SSC) classés sismiques doivent résister par conception afin de conserver leur intégrité et demeurer opérationnels.

Après la première révision périodique de sûreté, le PGA pour Doel 1/2 a été défini à 0,058 g et le PGA initial pour Tihange 1 a été porté de 0,1 g à 0,17 g.

La méthodologie utilisée pour déterminer le PGA repose sur une étude du risque sismique. Des approches déterministes ont été suivies en se basant sur des données historiques et sur les failles sismiques connues.

En avril 2011, l'exploitant a chargé l'Observatoire Royal de Belgique (ORB) de réaliser une nouvelle étude afin de réévaluer la validité et l'adéquation du séisme de référence à Doel et à Tihange en prenant en considération les récentes évolutions dans l'évaluation du risque sismique telles que le recours à l'approche probabiliste. L'ORB a effectué une analyse probabiliste de l'aléa sismique (PSHA) pour les deux sites en partant de plusieurs hypothèses sur les séismes pouvant survenir dans la zone ou la loi d'atténuation. Etant donné la présence de diverses incertitudes, un arbre logique combinant les différentes hypothèses et lois a été établi. Ensuite, un traitement statistique a permis d'obtenir le PGA correspondant à une période de retour donnée, ainsi que la médiane ou les percentiles du taux de dépassement. De plus, les différents choix posés ont été soumis à une analyse de sensibilité. Ceci a résulté en un réajustement du PGA pour chaque site, à 0,081 g pour Doel et à 0,23 g pour Tihange.

Avec les résultats de cette étude, les évaluations de la tenue au séisme des sept unités ont pu commencer. L'exploitant a retenu la méthode SMR (Seismic Margin Review) pour accomplir cette tâche. Cette méthode SMR est dérivée de la méthodologie SMA (Sismic Margin Assessment) décrite dans la publication NP-6041 de l'EPRI. La différence est que la méthode SMR ne focalise pas sur la robustesse sismique des SSC, mais plutôt sur la probabilité que les SSC puissent résister à un certain spectre RLE (Review Level Earthquake) dont le PGA associé est de 0,17 g à Doel et de 0,3 g à Tihange. Cette approche se veut conservatrice puisque le spectre RLE est supérieur aux spectres déterminés par l'étude de l'ORB.

En d'autres termes, l'exploitant a évalué la vulnérabilité sismique des SSC en les classant sur une échelle à trois niveaux (« Low », « Medium », « High ») correspondant à la probabilité que les SSC continuent d'assurer leur fonction de sûreté. L'exploitant a chargé l'organisation américaine Simpson, Gumpertz & Heger (SGH) de mener des inspections sur site (« walkdowns ») selon la méthodologie SMR. Plusieurs équipes ont été constituées pour les différentes unités et une équipe supplémentaire a été chargée de procéder à une vérification indépendante. Les walkdowns se sont focalisées sur la robustesse sismique des SSC, l'adéquation de leurs ancrages, le montage d'équipements internes et les interactions spatiales potentielles. Ces critères sont différents selon les SSC à évaluer.

Un travail préliminaire a été réalisé par l'exploitant pour lister les SSC à vérifier. Les équipes de SGH ont vérifié ces listes qui comportent les numéros d'identification, la description et la localisation des SSC au sein des bâtiments.

Les walkdowns menées jusqu'à présent ont conduit aux conclusions suivantes :

- Pour les trois premières unités, peu de SSC ont été identifiés comme appartenant à la catégorie « Low » ;

- Pour les quatre plus récentes unités, les SSC situés à l'extérieur du bâtiment réacteur peuvent facilement résister au RLE ;
- Aucun effet falaise relatif à un événement sismique ne peut se produire.

Des actions correctives sont planifiées par l'exploitant afin de remédier aux faiblesses identifiées des SSC classés dans la catégorie « Low ». Des walkdowns concernant les SSC dans le bâtiment réacteur des quatre unités les plus récentes auront lieu l'an prochain pendant les périodes d'arrêt des réacteurs.

2.4. Evaluation et conclusions de l'Autorité de sûreté

L'approche suivie pour mettre à jour le risque sismique et évaluer la robustesse sismique des sept unités est conforme à la méthodologie définie par l'exploitant et approuvée par l'Autorité de sûreté.

L'Autorité de sûreté a assuré un suivi spécifique durant toutes les étapes menées par l'exploitant pour conduire la réévaluation sismique. Après avoir examiné les rapports remis par l'exploitant, l'étude PSHA de l'ORB et les rapports des inspections sismiques de SGH, l'Autorité de sûreté a organisé des réunions techniques et des inspections sur site.

Sur la base de l'évaluation des rapports de l'exploitant et des documents supports, ainsi que des réunions techniques et inspections sur site qui ont suivi, l'Autorité de sûreté considère que le plan d'action découlant de cette réévaluation sismique est adéquat.

Toutefois, l'Autorité de sûreté a identifié des demandes et des recommandations complémentaires visant à renforcer plus encore la robustesse des installations contre le risque sismique :

1. Pour toutes les faiblesses identifiées lors des « walkdowns » (les SSC évalués comme ayant une faible probabilité de préserver leur intégrité et d'assurer leur fonction en cas de séisme supérieur au RLE), l'exploitant a annoncé que des études complémentaires sont en cours ou que des modifications simples peuvent être effectuées. L'exploitant devra fournir un plan détaillé des actions prises ou prévues. Cela s'applique également pour l'étude de faisabilité relative au renforcement du bâtiment des auxiliaires électriques (BAE) à Tihange 1.
2. En raison du calendrier serré des tests de résistance européens, l'étude PSHA de l'ORB a dû être conduite en un temps relativement court. Comme suggéré par l'ORB, l'exploitant devrait mener une étude plus élaborée en prenant dûment en considération (1) d'autres éléments tels que l'utilisation d'une équation de prédiction du mouvement du sol plus récente ou l'application d'un filtre de « cumulative absolute velocity » (« CAV »), (2) des revues externes menées par des experts internationaux et (3) les résultats d'autres études telles que le projet SHARE de la Commission européenne (harmonisation du risque sismique en Europe).
3. L'exploitant doit poursuivre ses efforts de sensibilisation quant à l'interaction sismique potentielle au sein de ses installations. Il doit particulièrement veiller à la stricte application des procédures afin d'éviter toute interaction entre des échafaudages et des SSC classés sismiques.

3. Inondation

Afin de produire un rapport national autoportant en vue du processus d'examen par les pairs à venir, les informations pertinentes présentées par l'exploitant dans ses rapports de tests de résistance sont d'abord rappelées.

A la fin de ce chapitre figure une section dans laquelle sont présentées l'évaluation et les conclusions de l'Autorité de sûreté belge (AFCN et Bel V).

3.1. Bases de conception

3.1.1. Crue contre laquelle les centrales sont conçues

3.1.1.1. Caractéristiques de la crue de conception (DBF)

Centrale nucléaire de Tihange

Les trois unités de la centrale de Tihange, situées sur la même plateforme à 71,5 mètres au-dessus du niveau de la mer, partagent la même base de conception contre le risque d'inondation. Les sources d'inondation potentielles du site, identifiées lors de la conception, sont :

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

L'analyse de conception a pris en compte des hypothèses conservatives tout en étant réalistes. 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).

La « crue de référence » contre laquelle le site de Tihange est protégé, correspond à la crue maximale de la Meuse historiquement mesurée (en 1995) majorée de 20 %. Le débit du fleuve pour cette crue de référence atteint 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 de la Meuse près du site atteint 71,30 mètres (incertitude de 0,1 m incluse) au-dessus du niveau de la mer. En situation normale, le niveau moyen est de 69,25 mètres (niveau régulé de la Meuse pour permettre la navigation).

Centrale nucléaire de Doel

La crue de conception (Design Basis Flood / DBF), crue de référence prise en compte à la conception initiale de Doel 1/2 et Doel 3 et Doel 4, est décrite dans le rapport de sûreté. Les données historiques concernant les plus hauts niveaux d'eau dus aux marées ou tempêtes sont des références importantes pour la crue DBF.

- Le plus haut niveau d'eau jamais enregistré (1^{er} février 1953) a atteint + 8,10 mètres DNG (« Deuxième nivellement général », qui est le niveau de référence utilisé pour exprimer l'altitude topologique en Belgique. Le niveau 0 mètre DNG correspond au niveau moyen de la mer à marée basse à Ostende).
- Le niveau moyen de la mer à marée haute est de +5,08 mètres DNG.
- Le rapport du comité DELTA indique que la probabilité d'une marée haute de + 9,13 mètres DNG à hauteur du détroit de Bath (au nord de Doel) est de une fois tous les 10 000 ans. Cette crue décennale a été retenue comme la crue de conception (DBF).

3.1.1.2. Méthode utilisée pour évaluer la crue de conception

Centrale nucléaire de Tihange

La crue de conception d'origine pour la centrale nucléaire de Tihange 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 dans la vallée de la Meuse (débit maximum de 2 179 m³/s), les statistiques de crue ont été revues dans le cadre de la révision périodique de sûreté. La « crue de référence » pour le site de Tihange a été réévaluée en utilisant la méthodologie d'origine. Elle correspond actuellement à la plus forte crue de la Meuse historiquement mesurée (en 1995) majorée de 20 %. Le débit du fleuve pour cette crue de référence atteint 2 615 m³/s et le niveau d'eau atteint 71,30 m.

La centrale nucléaire de Tihange est protégée contre cette crue de référence par l'altitude de la plateforme sur laquelle elle est construite et la hauteur de ses protections périphériques. Les unités restent au sec et fonctionnent normalement. Le site est toutefois placé en état de vigilance accrue à titre de précaution.

Centrale nucléaire de Doel

Une évaluation de la crue de conception (DBF) a été réalisée durant les révisions périodiques de sûreté. La crue DBF a été réévaluée sur la base des données les plus récentes (exemples : données météorologiques, modèles de calcul, réglementations nucléaires). La centrale nucléaire de Doel est située sur l'estuaire de l'Escaut. Les différentes causes d'inondations possibles pour un site implanté sur un estuaire ont été évaluées. Les charges de base prises en considération et combinées lors de la révision périodique de sûreté sont :

- une tempête en provenance de la Mer du Nord et la marée ;
- des grands vents en cas de grande marée de tempête entre Vlissingen et Doel ;
- la houle, le déferlement des vagues avec franchissement de la digue.

Le plus haut niveau d'eau jamais enregistré est toujours celui de 1953. Une étude a conclu que la marée haute moyenne tend à augmenter légèrement. La crue décamillénale a été réévaluée à + 9,35 mètres DNG (en moyenne) à proximité du site.

3.1.1.3. Adéquation de la crue de conception

Centrale nucléaire de Tihange

Les études de conception du site ont pris en compte l'éventuelle rupture du barrage amont d'Andenne-Seille. L'onde résultante a été comparée à la crue de référence de la Meuse. Une défaillance du barrage en amont du site n'aura aucune conséquence sur le fonctionnement des réacteurs du site de Tihange, l'onde étant suffisamment amortie pour ne pas dépasser le niveau des berges.

Par ailleurs, dans le cadre de la dernière révision périodique de sûreté (2005), l'Université de Liège a récemment réétudié l'impact de la rupture du barrage d'Andenne-Seille. Dans l'hypothèse d'une rupture survenant hors période de crue, alors que la Meuse est à son niveau moyen et en supposant 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 inférieur au niveau atteint par la crue de référence.

Les études de conception ont également écarté tout risque d'inondation du site de Tihange dû à un dysfonctionnement du barrage d'Ampsin-Neuville, situé en aval. 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 être manœuvré en l'absence d'énergie électrique.

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

- contre la crue de référence caractérisée par un niveau d'eau de 71,30 m (y compris les remontées par le réseau d'égout et la marge d'incertitude) ;
- 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.

D'autre part, l'évolution de la réglementation nucléaire a conduit à adopter, lors de la dernière révision périodique de sûreté, une méthodologie probabiliste pour déterminer le niveau de la Meuse en fonction de la période de retour. Une de ses conclusions est que le site de Tihange est actuellement protégé, de par sa conception, contre une crue de référence dont la période de retour se compte en siècles (entre 100 et 1 000 ans). Le niveau de la Meuse à hauteur du site de Tihange a été déterminé jusqu'à une crue avec une période de retour de 10 000 ans (crue décennale). Cette crue décennale a été définie comme étant la crue millénaire (avec un intervalle de confiance à 70 %) majorée de 15 %. Le débit correspondant vaut 3 488 m³/s. Aucune source historique connue ne mentionne toutefois un débit de cette ampleur. Il convient de noter qu'un tel niveau ne pourrait résulter que de circonstances exceptionnelles, conjuguant une rapide fonte des neiges et une longue période de pluies abondantes. Ce phénomène extrême peut également être prévu.

Néanmoins, il a été décidé d'adopter cette crue décennale comme nouvelle base de conception pour la centrale de Tihange afin de satisfaire aux standards internationaux. Le renforcement des lignes de défense a donc été étudié et certaines modifications prévues ont d'ores et déjà été effectuées.

Centrale nucléaire de Doel

La révision périodique de sûreté a conclu que la protection du site de Doel contre l'inondation externe est adéquate : le niveau de la crue correspondant à une période de retour de 10 000 ans (+ 9,35 mètres DNG) reste largement en dessous de la hauteur minimale de la berge à Doel (+ 11,08 mètres DNG).

3.1.2. Dispositions pour protéger les centrales contre la crue de conception

3.1.2.1. Protection du site

Centrale nucléaire de Tihange

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

Le site de Tihange est protégé par la hauteur des berges de la plateforme du site et de celles du canal d'amenée. Le canal d'amenée 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 été rehaussées en particulier pour pouvoir faire face à la crue de référence. Aucun dispositif mobile ne nécessite d'être installé pour garantir cette protection. Celle-ci est opérationnelle en permanence et ne requiert pas d'intervention humaine.

Cette portion de Meuse est bornée 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. L'ensemble de ce réseau est situé à une altitude supérieure ou égale à celle du site de Tihange et il compte suffisamment de voies hors zone inondée (y compris lors des crues maximales prévisibles) pour permettre l'accès au site (voir Figure 1).

La zone rouge de la Figure 1 ne comporte aucun équipement ou bâtiment de sûreté. La zone orange inclut presque tous les bâtiments de sûreté. Dans cette zone, les portes d'entrée des bâtiments sont à 71,5 m, soit 20 cm en moyenne au-dessus du sol. La zone verte se situe nettement plus haut que le reste du site, de 2 mètres en moyenne.



Figure 10 : Les différentes zones altimétriques du site de Tihange

Centrale nucléaire de Doel

Afin de réduire le risque d'inondation, deux mesures importantes ont été prises à la conception du site : premièrement, la totalité du site, incluant toutes les installations nucléaires, est situé sur une plateforme surélevée et, deuxièmement, la digue de l'Escaut, qui fait office de barrière pour le site, a également été rehaussée. La protection contre la crue DBF est assurée par le choix de l'altitude de la plateforme sur laquelle le site est implanté, combiné à la hauteur des digues près du site.

- La plateforme a été rehaussée à + 8.86 mètres DNG, ce qui signifie que la centrale nucléaire est entourée de polders de moindre altitude.
- Les digues longeant le site ont été rehaussées à +12.08 mètres DNG, en comparaison avec + 11.08 mètres DNG pour les digues dans les zones voisines. La possibilité d'un affaissement des digues au fil du temps a été prise en compte. Les spécifications techniques de la centrale nucléaire de Doel imposent une hauteur minimale de +11.08 mètres DNG pour la crête de la digue.

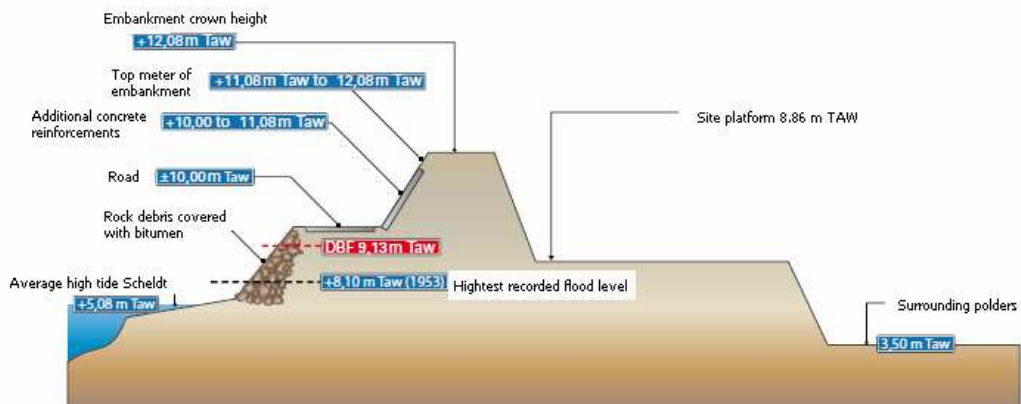


Figure 11 : Dispositions de conception à la centrale nucléaire de Doel contre la crue DBF (coupe transversale de la digue)

3.1.2.2. Systèmes, structures et composants

Centrale nucléaire de Tihange

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 ne sera affecté. Tous les systèmes, structures et composants nécessaires pour assurer la mise à l'arrêt stable et contrôlé des unités restent disponibles.

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 d'être inondés en cas de crue de référence.

Centrale nucléaire de Doel

La plateforme de la prise d'eau de Doel 1/2 implantée dans l'Escaut est située approximativement au même niveau que le site. La perte éventuelle de la source froide principale (l'Escaut) en cas de crue DBF est traitée par une source froide alternative (circuit d'eau brute (RW)) située sur le site à l'abri des digues. La station de pompage assurant la prise d'eau pour Doel 3 et Doel 4 est protégée par la digue.

En cas de crue DBF, seul le circuit de circulation d'eau (CW) de Doel 1/2 pourrait être indisponible, il n'y aurait pas d'autre dégât.

3.1.2.3. Dispositions complémentaires de conception pour prévenir l'infiltration d'eau de la nappe phréatique

Centrale nucléaire de Tihange

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

Le niveau de la nappe phréatique est situé à 67,5 mètres en moyenne, soit environ deux mètres en dessous du niveau régulé de la Meuse (69,25 mètres). Le long 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 peut être exclue, même après une période de crue. Le site lui-même est aussi protégé des infiltrations rapides par une couche limoneuse en surface et le recouvrement d'une bonne partie de sa superficie par de l'asphalte.

A Tihange 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. A Tihange 2 et Tihange 3, une membrane souple d'étanchéité de type « Butyl » a été disposée sur les surfaces en contact avec le sol 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.

Le niveau de la nappe est également mesuré à intervalles réguliers, ce qui permet de suivre sa lente évolution. Tous les bâtiments de sûreté immergés sont munis de puisards avec des pompes de relevage, inspectés lors des rondes quotidiennes.

Centrale nucléaire de Doel

Les critères/dispositions suivants s'appliquent pour la protection des structures souterraines des bâtiments de Doel 1/2 et de Doel 3 et Doel 4 :

- Les calculs ont été effectués en prenant en compte un niveau de + 7.00 mètres pour la nappe phréatique à Doel.
- Les murs souterrains sont construits en béton armé hydrofuge.
- Les surfaces des murs en contact avec le sol ont été recouvertes d'une couche étanche comprenant trois épaisseurs de goudron. La maçonnerie avait préalablement été enduite de ciment étanche.

- Les joints entre les bâtiments ou les joints de raccordement des canaux souterrains sont réalisés avec un matériau thermoplastique étanche.

3.1.2.4. Principales dispositions d'exploitation pour prévenir l'impact de l'inondation des centrales

Centrale nucléaire de Tihange

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 protéger les installations de l'inondation. Toutefois, à titre de précaution, des mesures préventives existent, décrites ci-après.

Tout d'abord, lorsque l'autorité régionale en charge de la protection contre les inondations (service d'études hydrologiques / SETHY), prévoit un débit de Meuse supérieur à 1 500 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 (équipe de quart de Tihange 2). Dès lors, l'équipe de quart de Tihange 2 est chargée de maintenir une communication régulière avec le SETHY pour se tenir informé de l'évolution de la situation. En parallèle, elle informe les deux autres unités et leur signale le passage en état d'alerte par rapport au risque d'inondation. Dans chaque unité, les équipes de quart prennent des actions spécifiques pour surveiller l'état de leur unité afin d'assurer une détection rapide de toute inondation.

Centrale nucléaire de Doel

Une alerte de crue proactive augmente le niveau de vigilance des équipes de quart.

Les phases d'alerte suivantes sont initiées sur la base des informations fournies par l'autorité régionale en charge de la protection contre les inondations (département « Waterwegen en Zeekanaal ») :

- « Marée de tempête sur le bassin de l'Escaut maritime » : niveau de l'Escaut > 6,60 mètres DNG ;
- « Marée de tempête dangereuse sur le bassin de l'Escaut maritime » : niveau de l'Escaut > 7,00 mètres DNG.

Conformément à la procédure, un certain nombre de mesures est alors pris. Il s'agit entre autres d'actions telles que la fermeture des entrées de la prise d'eau de Doel 1/2, la vérification de l'étanchéité de l'installation roll-on-roll-off sur la berge et le placement préventif de sacs de sable aux entrées critiques des bâtiments.

Un temps suffisant est accordé pour les actions faisant suite à l'alerte « Marée de tempête dangereuse sur le bassin de l'Escaut maritime ». Dès que le niveau de l'eau atteint 7,58 mètres DNG, il reste deux heures avant que l'eau n'atteigne l'altitude de la plateforme du site, et l'eau est encore bien en dessous la crête de la digue.

3.1.2.5. Autres conséquences possibles de la crue DBF

Centrale nucléaire de Tihange

Perte de l'alimentation électrique extérieure

Chaque unité de Tihange dispose de générateurs diesel redondants, situés sur la plateforme du site et donc protégées contre la crue de référence. Ces sources internes sont suffisantes pour alimenter tous les systèmes nécessaires à la mise à l'arrêt stable et contrôlé des unités. Bien que le réseau électrique extérieur puisse résister sans dommage à ce type de crue sans dommage, le scénario d'une crue de référence combinée à une perte d'alimentation électrique extérieure a été pris en compte. Une telle situation n'aurait pas impact sur le site, qui utiliserait alors ses alimentations électriques internes.

Risque d'inondation aux abords du site

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. Plus particulièrement, une route à quatre voies permettant le passage de grands véhicules reste disponible.

Centrale nucléaire de Doel

Perte de l'alimentation électrique extérieure

La protection des systèmes (y compris les générateurs diesel) destinés à compenser la perte de l'alimentation électrique extérieure est couverte par les dispositions de conception du site, par exemple l'altitude de la plateforme et la digue.

Risque d'inondation aux abords du site

La digue de l'Escaut protège la zone autour du site contre une inondation éventuelle. En cas de rupture de la digue des polders, il se peut que les routes d'accès à la centrale deviennent inutilisables.

Rupture de la digue

En cas de tempête extrême théorique accompagnée d'une déformation de la digue, le risque de rupture de la digue près du site ne peut être exclu. Cela ne signifie pas nécessairement que la digue s'effacerait immédiatement étant donné qu'une digue dispose toujours d'une force résiduelle. Cela signifie que la digue pourrait être détruite par une prochaine tempête si elle n'était pas réparée. Un programme d'inspection et de maintenance est donc prévu.

Une étude récente – basée sur la structure en couches de la digue (déterminée par carottages du sol) et sur les mécanismes de renforcement mis en oeuvre (par exemple application de bitume sur les débris de roche), a révélé qu'un début de rupture de la digue pourrait survenir en cas de forte tempête d'une période de retour de 1 700 ans (il s'agit de la valeur au point le plus critique de la digue, déterminé sur la base de la structure en couches du sol) associée à des vents de Nord/Nord-Ouest.

3.1.3. Conformité des centrales avec leur autorisation actuelle

3.1.3.1. Organisation générale de l'exploitant pour garantir la conformité avec la base de conception

Centrale nucléaire de Tihange

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

- le muret placé le long de 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 remplir sa fonction correctement en cas de crue ;
- les murs de quai du fleuve sont la propriété de la Région Wallonne, qui veille à leur entretien.

Centrale nucléaire de Doel

La crête de la digue de l'Escaut le long du site de la centrale nucléaire doit s'élever à au moins + 11,08 mètres DNG (exigence des spécifications techniques). Si la hauteur de la crête descend en dessous de ce niveau, elle doit être rétablie avant que le niveau de l'Escaut ne dépasse + 7,58 mètres DNG. La hauteur de la crête de la digue doit être vérifiée tous les dix ans.

En pratique, la crête de la digue est mesurée tous les cinq ans, ce qui va au-delà de ce qui est spécifié dans le rapport de sûreté. Les mesures de hauteur les plus récentes (2011) étaient positives : la digue satisfait entièrement aux exigences des spécifications techniques.

Les cloisons de roll-on-roll-off doivent être fermées à tout moment. Ceci est également vérifié sur une base hebdomadaire. L'étanchéité des roll-on-roll-off est vérifiée dans le cadre d'un plan d'inspection annuel.

Les inspections et la maintenance périodiques de la digue de l'Escaut et de la digue autour des bassins de refroidissement LU sont menées selon un plan de maintenance et une procédure de maintenance ; ces opérations sont effectuées sur une base annuelle. De cette manière, l'intégrité structurelle continue d'être assurée. Toute la partie extérieure de la digue de l'Escaut est également inspectée annuellement et entretenue par l'autorité publique (« Waterwegen en Zeeschelde »).

3.1.3.2. Utilisation d'équipements mobiles ou spécifiques

Centrale nucléaire de Tihange

En cas d'infiltration d'eau malgré la protection du site à la conception, et si les pompes de drainage fixes ne suffisaient pas localement à évacuer cette eau, le site utiliserait des moyens complémentaires dont la disponibilité est assurée en tout temps. Il s'agit :

- de quarante pompes immergeables de différentes capacités ;
- 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 prêts à l'emploi.

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, dix pompes sont systématiquement renvoyées pour maintenance chez le fabricant. Toutes ces opérations garantissent leurs bonnes performances.

Centrale nucléaire de Doel

L'autorisation d'exploitation ne mentionne pas que des équipements mobiles doivent être disponibles en permanence en cas de crue DBF.

3.1.3.3. Déviations potentielles par rapport au référentiel et actions correctives

Centrale nucléaire de Tihange

Suite à la catastrophe de Fukushima, une inspection complète des installations protégeant le site vis-à-vis d'une inondation de référence a été réalisée sur la base du WANO SOER 2011-02. Aucune non-conformité n'a été détectée à cette occasion. Aucune action corrective spécifique n'a été nécessaire.

Centrale nucléaire de Doel

Doel est protégée contre l'inondation par l'altitude la plateforme du site et par les digues. Ceci est inclus dans la base de conception. Il n'existe aucun écart sur ce point.

Suite à la catastrophe de Fukushima, Doel a dressé une réponse en rapport avec le WANO SOER 2011-02. Un certain nombre d'actions spécifiques a été initié concernant le risque d'inondation ; citons quelques exemples :

- Le stock de sacs de sable a été augmenté.
- En vue d'accroître l'autosuffisance du site, des pompes diesel autonomes supplémentaires ont été achetées.
- Les inspections et vérifications des protections contre l'inondation (digues) sont menées plus fréquemment, avec des intervalles de temps qui sont pour la plupart plus rapprochés que ceux spécifiés dans le rapport de sûreté.

3.2. Evaluation des marges de sûreté

3.2.1. Estimation de la marge de sûreté contre l'inondation

3.2.1.1. Mesures prises pendant la phase d'alerte et pendant l'inondation

Centrale nucléaire de Tihange

L'inondation du site ne peut survenir que pour des crues de la Meuse excédant la crue de référence (2 615 m³/s). Concernant la stratégie de réponse pour les crues excédant la crue de référence, l'exploitant a opté pour une stratégie unique sans faire de distinction entre les crues excédant légèrement la crue de référence et la crue décennale pour laquelle le site serait recouvert par 1,70 m d'eau en certains endroits.

La stratégie de réponse commence par la transition vers l'un des deux états d'arrêt qui peuvent être stabilisés avant que les eaux ne commencent à envahir le site. Les états d'arrêt sont :

- l'arrêt à froid qui se caractérise comme suit :
 - la cuve du réacteur est ouverte ;
 - les piscines du BAN-D et du bâtiment réacteur 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 dans le circuit primaire. Le pressuriseur est partiellement rempli (environ 75 %) ;
 - tous les compartiments des piscines du BAN-D sont remplis, mais la piscine du bâtiment réacteur est vide (le tube de transfert est fermé) ;
 - les générateurs de vapeur sont dépressurisés par l'ouverture du contournement à l'atmosphère. Ils sont remplis au maximum pour maximiser l'inertie thermique.

Le processus d'alerte inondation démarre au niveau du SETHY qui peut fournir des prévisions de débit de la Meuse jusqu'à plusieurs jours à l'avance. Lorsque le SETHY enregistre un débit de la Meuse supérieur à 1 500 m³/s, il passe en situation d'alerte et contacte le site de Tihange. L'équipe de quart de Tihange 2 doit alors 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 en raison du risque d'inondation. Sur chaque unité, l'équipe de quart prend des actions spécifiques pour surveiller l'état de son unité et assurer une détection rapide de toute inondation.

En communication directe avec le SETHY, l'équipe de quart est informée de l'évolution attendue du débit du fleuve. Dès qu'une prévision de débit de 2 500 m³/s est signalée, l'équipe de quart de Tihange 2 active le Plan Interne d'Urgence (PIU), appelant l'équipe de crise. La tâche de l'équipe de crise, sur la base des prévisions du SETHY et du niveau de crue prévu, consiste à initier l'arrêt des unités et le déploiement des équipements du 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 et il protège la centrale contre une crue hors conception. Dix heures sont nécessaires pour amener les unités dans l'état d'arrêt le plus approprié.

Lorsque les équipements conventionnels sont rendus indisponibles par l'inondation, le circuit CMU de chaque unité – préinstallé durant la phase d'alerte – est utilisé. Des procédures destinées aux équipes de quart et aux équipes de maintenance décrivent les opérations à réaliser. L'équipe technique est suffisante pour installer les équipements du CMU dans les délais impartis.

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 des piscines de combustible usé.

Les équipements du CMU (pour la plupart mobiles), préinstallés dans la phase d'alerte inondation, ne sont pas mis en service jusqu'au moment de la défaillance effective des équipements classés, de sorte que ceux-ci ne sont pas perdus alors qu'ils sont toujours opérationnels. Les composants du CMU sont placés à des niveaux suffisants pour être protégés d'une inondation décennale, avec une marge de plus de deux mètres. 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 extérieures installées à cet effet ou par les toits.

Une fois le site inondé, aucune assistance extérieure n'est nécessaire à court terme. En effet, les équipements du CMU peuvent 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 est suffisant pour la période d'inondation (évaluée à 5 jours par l'Université de Liège), et pour une période post-inondation prolongée. Cela laisse largement le temps aux services de maintenance d'apporter et d'installer les moyens nécessaires pour rétablir durablement les équipements indispensables.

Centrale nucléaire de Doel

L'inondation du site ou des polders n'est possible qu'en cas de très forte tempête. Comme discuté précédemment, un système d'alerte proactif est disponible. Le personnel de la centrale nucléaire sera en état d'alerte élevé. Les procédures du plan d'urgence seront conservées à portée de main et un certain nombre d'actions préventives sera pris. Cela inclut, entre autres, des rondes d'inspection pour assurer la détection rapide de toute inondation et la mise en place préventive de sacs de sable aux entrées critiques des bâtiments. Le même plan d'urgence peut également être déclenché de manière réactive.

La plateforme sur laquelle l'ensemble du site est implanté est entourée de polders situés 5 mètres plus bas. En cas de rupture de digue (hors conception), il est fort probable que ces polders soient inondés. Dans une telle situation, le site de la centrale de Doel serait effectivement insularisé. Les éléments suivants seraient alors importants dans l'éventualité d'une telle inondation : l'évacuation et l'accès pour les personnes, l'approvisionnement en nourriture, l'approvisionnement en fuel pour les systèmes de sûreté et les groupes diesel de secours. Les mesures appropriées sont décrites dans les procédures du plan d'urgence.

Si le site devait être inondé, les procédures du plan d'urgence et les équipements mobiles seraient utilisés. Les procédures du plan d'urgence décrivent toutes les actions à mettre en œuvre en cas d'inondation. Un certain nombre d'actions doit être entrepris en premier : fermer les entrées de la prise d'eau de Doel 1/2, vérifier l'étanchéité des roll-on-roll-off, etc. S'ensuivent alors des notifications en cascade – un logigramme indique qui doit être contacté, à quel moment et quelles sont les tâches respectives :

- des membres du personnel d'astreinte,
- du personnel de sécurité,
- du service incendie du site,
- des équipes de quart.

Les équipements mobiles peuvent être utilisés par trois organisations différentes :

- La centrale de Doel a ses propres ressources présentes sur le site : cinq pompes électriques mobiles et huit pompes diesel (exemple : une pompe diesel à haut débit de 10 000 l/min), environ 450 sacs de sable, etc. Un certain nombre de pompes diesel mobiles (capacité unitaire de 10 m³/h) est également disponible sur chaque unité afin d'extraire l'eau des bâtiments.
- La caserne des pompiers de Beveren est le service d'incendie extérieur le plus proche et elle sera appelée en premier. Cette caserne dispose de quatre pompes à haut débit (jusqu'à 10 000 l/min).
- La protection civile de Liedekerke dispose de pompes automatiques (jusqu'à 10 000 l/min), de pompes électriques, de motopompes, de sacs de sable (150 000 pièces), de bateaux à moteur, etc.

3.2.1.2. Analyse des circonstances pour lesquelles une inondation du site pourrait survenir

Centrale nucléaire de Tihange

Tous les équipements de sûreté participant au maintien en état stable et contrôlé des trois unités sont situés plus ou moins à la même altitude de 71,50 m. Toutefois, le niveau de la Meuse ne constitue pas un critère suffisant pour prédire l'étendue de la zone touchée. Cela dépend du débit du fleuve dans la mesure où, en situation de crue, le niveau du fleuve en amont du site est supérieur de 0,5 m au niveau en aval. Une bonne partie de l'eau pénétrant sur la plateforme par l'amont repartira donc vers la Meuse par les points bas du site, sans atteindre des niveaux d'eau élevés ailleurs sur la plateforme. L'étendue de la zone inondée va donc dépendre du débit en Meuse. Plus ce dernier sera élevé, plus la surface atteinte du site sera importante. Tihange 1, qui est située le plus en amont, sera la première unité touchée, suivie par Tihange 2, puis Tihange 3. À la demande de l'exploitant, l'Université de Liège a réalisé une étude combinant le débit en Meuse, le niveau d'eau correspondant et la topographie du site, afin de modéliser les écoulements d'eau sur la plateforme.

Centrale nucléaire de Doel

Vagues franchissant la digue de l'Escaut

Lors d'une forte tempête, un niveau d'eau élevé combiné à des vents de direction défavorable peut amener les vagues à franchir la digue.

Ce risque a été analysé lors de la révision périodique de sûreté. Cette analyse montre que le franchissement de la digue peut apparaître pour des tempêtes importantes avec une période de retour excédant 200 à 300 ans. Le volume d'eau passant au-dessus de la digue devient conséquent pour de très fortes tempêtes avec une période de retour de 1 000 à 10 000 ans.

Sur la base d'un modèle simplifié, qui considère que l'eau franchissant la digue agit comme la source d'eau pénétrant sur le site et que cette eau s'écoule vers les polders situés en contrebas à la limite du site, on estime que le site sera inondé sous 10 cm en moyenne pour une très forte tempête avec une période de retour de 10 000 ans.

Rupture de digue hors conception à proximité du site

En cas de forte tempête combinée à des vents soufflant dans une direction défavorable, la digue pourrait être soumise à une pression telle que sa rupture constituerait un risque réel. Dans un tel cas, une brèche pourrait apparaître et l'eau s'engouffrerait sur le site. Ce risque a été analysé lors de la révision périodique de sûreté. Un début de rupture de la digue pourrait survenir pour une forte tempête d'une période de retour de 1 700 ans. Cela signifie que la digue pourrait rompre lors d'une prochaine tempête si aucune réparation n'est réalisée peu après ce début de rupture.

Dans l'analyse des conséquences d'une rupture de la digue de l'Escaut à proximité du site, la tempête la plus défavorable (la plus forte) susceptible d'entraîner la rupture de la digue a été considérée, cumulée avec un niveau élevé de l'Escaut. Le niveau maximal de l'Escaut pour cette tempête a été postulé à 10,2 mètres DNG, ce qui est 85 cm plus élevé que la crue décennale moyenne. L'analyse montre que l'eau atteindra les premiers bâtiments après environ 60 minutes ; cette eau s'écoulera vers les polders par les extrémités du site.

Un niveau d'inondation moyen de 20 cm est estimé sur le site. Compte tenu de la topographie du site, un niveau plus élevé est attendu localement. En général, des hauteurs d'eau entre 30 et 60 cm sont estimées aux endroits proches de la brèche ou pour les parties du site en contrebas.

3.2.1.3. Conséquences de l'inondation sur les fonctions de sûreté

Centrale nucléaire de Tihange

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 affectés. Tous les équipements pouvant contribuer au refroidissement du combustible dans le cœur ou en piscine sont examinés.

Cette analyse ne dépend pas de l'état initial des unités (fonctionnement en puissance ou à l'arrêt).

Dès que le débit de la Meuse dépasse 2 615 m³/s, l'eau pénètre sur le site sans conséquence directe puisque aucun bâtiment de sûreté 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 approchant 2 800 m³/s, avant pour qu'il y ait une menace pour les alimentations électriques de secours de Tihange 1 et pour que les pompes CEU de Meuse et de puits de Tihange 2 soient perdues. Le refroidissement par les GV (ou par le système RRA en arrêt de tranche) est toujours disponible dans la mesure où il est alimenté par les équipements GDS et CEB-CRI-EAA-EAS, restés au sec.

À 2 800 m³/s, Tihange 1 est totalement entourée d'eau. Tous les bâtiments de l'unité, à l'exception du bâtiment réacteur, seront inondés. Les systèmes assurant le refroidissement des piscines sont hors d'usage, de même que le RRA (les équipements du CMU prennent le relais). La turbopompe d'eau alimentaire de secours (TPA du circuit EAS) reste fonctionnelle car elle est montée sur un socle de support.

La période de retour d'un tel débit est d'environ 400 ans.

En parallèle, l'eau commence à s'infiltrer par la porte d'entrée du BAN-D de Tihange 2. Le flux d'eau peut être endigué par des sacs de sable et rejeté à l'extérieur par pompage. Tihange 3 reste toujours au sec.

À 2 900 m³/s, débit apparaissant presque tous les 600 ans, la TPA EAS de Tihange 1 est perdue. Le CMU alimente seul les générateurs de vapeur.

Les parties inférieures du BUS de Tihange 2 sont inondées et les systèmes d'ultime secours de second niveau associés sont perdus. Les niveaux en sous-sol du BAN et de 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, certaines des vannes d'isolement vapeur et/ou eau peuvent être fermées par des signaux automatiques intempestifs. Il est toujours possible d'ouvrir les vannes « manuellement » (à partir du BUS) et de conserver la fonction de refroidissement des générateurs de vapeur.

À Tihange 3, l'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. Cette prise d'air est munie d'un clapet d'isolement qui sera fermé durant la mise en place du CMU pour éviter le noyage du BUS de l'unité 3.

À 3 000 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 cette ampleur est d'environ 900 ans.

À Tihange 3, le BAN est noyé. 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 reprend l'alimentation en eau des piscines.

Au-delà de 3 300 m³/s, plus aucun système de sûreté n'est opérationnel sur les trois unités même si les alimentations extérieures de Tihange 3 restent disponibles a priori (les points sensibles sont un mètre au-dessus du sol).

Finalement, pour une crue décennale (3 488 m³/s), tous les tableaux d'alimentation électrique sont perdus à cause de l'inondation ou de l'activation des dispositifs de protection par les courts-circuits dus à l'eau. Les générateurs diesels des trois unités sont désormais tous noyés (GDS, GDR, GDU et DUR). Seules les batteries de secours du premier niveau (et celles des systèmes d'ultime secours de second niveau à Tihange 1) sont toujours disponibles pour les trois unités.

Centrale nucléaire de Doel

Les bâtiments inondés en premier ou le plus rapidement en cas de franchissement de la digue par les vagues ou de rupture de la digue ont été identifiés. Pour les SSC les plus importants et leur emplacement géographique, on vérifie la présence de seuils, de plinthes, etc. qui les protégeraient contre les conséquences d'une inondation en cas de franchissement ou de rupture de la digue. Seule la disponibilité de moyens installés en sous-sol ou au niveau du sol est évaluée puisque les autres ne sont pas en péril.

Trois facteurs jouent un rôle important : premièrement, la hauteur des entrées respectives ; deuxièmement, la distance à l'Escaut ; et troisièmement, le seuil d'accès.

- Les bâtiments plus bas devront faire face à une inondation plus importante.
- Les parties inférieures des bâtiments sont munies de pompes immergeables pour évacuer l'eau qui s'y écoule.
- Deux systèmes de drainage indépendants existent : le système d'égouts du site n'est pas raccordé à celui des bâtiments mêmes.

Conséquences des vagues franchissant la digue de l'Escaut

L'inondation en cas de vagues franchissant la digue reste limitée à environ 10 cm sur le site. Les SSC nécessaires pour assurer la mise à l'arrêt stable et contrôlé restent disponibles dans ce cas. En outre, des sacs de sable sont préventivement installés aux entrées critiques en cas d'alerte de tempête.

Conséquences d'une rupture de digue hors conception près du site

L'inondation en cas de rupture de digue hors conception près du site est estimée à 20 cm en moyenne sur le site. Compte tenu de la topographie du site, une inondation plus importante est attendue localement.

Les systèmes d'ultime secours (second niveau) restent disponibles pour Doel 1/2 et Doel 3. Pour Doel 4, les systèmes de secours (premier niveau) continueront d'être préservés de l'arrivée d'eau ; le GVD pourrait être noyé, mais les pompes AF restent disponibles. Une inondation limitée peut également survenir dans le BKR.

Durant les alertes de tempête, des sacs de sables sont préventivement placés devant les entrées critiques. Leur rôle est de protéger les bâtiments importants contre l'inondation.

3.2.1.4. Points faibles et effets falaises

Centrale nucléaire de Tihange

Le site de Tihange est plat par conception. L'écart entre le niveau régulé de la Meuse et les berges du site (ou le muret de protection le long du canal d'amenée) 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 du canal d'amenée de la Meuse et des différents exutoires (rejet d'eau de refroidissement des trois unités et des réseaux d'égouts).

Peu de bâtiments sont prévus pour être étanches contre la présence d'eau d'inondation à l'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 d'inondation, 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 d'eau brute (CEB) et les pompes d'eau de nappe sont perdues une fois que le niveau d'eau atteint 71,5 mètres à Tihange 1, tandis que pour Tihange 2 et Tihange 3, elles sont noyées lorsque l'eau atteint un niveau d'environ 71,75 mètres. Enfin, les bâtiments vitaux tels que les BAE (sauf à Tihange 1 où il est en hauteur), les BAN et les BUS ne sont pas pourvus de seuils de portes, si bien que l'eau entrante noiera les niveaux en sous-sols où se trouvent 75 % des circuits de sauvegarde (CIS-CAE-CUS). Une fois ces sous-sols immergés, ce sera le tour des espaces annulaires.

Toutefois, 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.

Comme décrit précédemment, la crue décennale n'est pas un événement soudain ; cela permet au SETHY d'alerter 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 stable et contrôlé des trois unités ;
- l'isolement de l'enceinte ;

- la mise à l'état sous-critique du cœur ;
- le passage vers un état d'arrêt stabilisé sur le long terme ;
- le déploiement et l'alignement des équipements du CMU pour garantir le maintien de ces états d'arrêt et pour faire face à la défaillance des équipements de sûreté.

Ces équipements mobiles, et les générateurs diesels utilisés pour leur alimentation électrique, sont tous placés à plus de deux mètres au-dessus du niveau d'eau maximal qui serait atteint par une crue décennale. Ils sont donc totalement à l'abri de celle-ci.

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

- 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 Tihange 1.
- le deuxième effet falaise survient à un débit de 2 900 m³/s, correspondant à l'inondation des équipements sur socle à Tihange 1 et l'entrée d'eau à Tihange 2.
- le troisième effet falaise survient à 3 000 m³/s en Meuse. Tihange 2 se voit alors privée de la TPA EAA, le CMU assurant le refroidissement du combustible.
- le dernier effet falaise se produit pour un débit compris entre 3 000 et 3 300 m³/s, débit qui mène à la perte de la TPA EAA de Tihange 3. Le CMU continue d'assurer le refroidissement du combustible en piscine et dans le cœur.

En conclusion, l'inondation progressive du site va conduire à la perte progressive de nombreux équipements de sûreté. Lorsque les équipements assurant le refroidissement du combustible seront affectés, le circuit CMU de chaque unité sera utilisé pour assurer le refroidissement du combustible dans le cœur et en piscine. Le CMU peut assurer cette fonction pendant plus de deux semaines. Aucun de ces effets falaises n'entravera le refroidissement du cœur.

Centrale nucléaire de Doel

La protection de conception du site de Doel est robuste. L'inondation du site ne peut survenir qu'en cas de crue très importante de l'Escaut combinée à une houle importante ou à une rupture de la digue. Dans ces conditions, l'eau de l'Escaut peut pénétrer sur le site. Cette eau s'écoule alors vers les limites du site et dans les polders. L'ampleur de l'inondation est de l'ordre de quelques dizaines de centimètres d'eau, en fonction de la topographie du site et de la distance par rapport à la digue ou à la brèche.

Les effets falaises se produisent donc soit au moment où des quantités substantielles d'eau pénètrent sur le site par franchissement des vagues au-dessus de la digue, soit au moment où la digue rompt. La probabilité d'effets falaises significatifs est toutefois très faible.

Un point faible concerne certains bâtiments qui n'ont pas été conçus de manière à garantir leur étanchéité lorsque le site est inondé de plusieurs dizaines de centimètres d'eau.

3.2.1.5. Combinaison d'une crue et de conditions météorologiques défavorables

Le cumul de conditions météorologiques extrêmes et d'une inondation a été considéré pour les cas où il existe un lien probable entre les phénomènes. Le but est d'évaluer l'impact de situations encore plus défavorables qu'une inondation seule.

Centrale nucléaire de Tihange

Crue de référence + fortes pluies

Etant 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. Le réseau d'égouts est suffisant pour évacuer l'eau en cas de pluie intense. Le niveau des bouches d'égout étant supérieur à celui pouvant être atteint par la Meuse lors d'une crue de référence, le réseau d'égouts restera opérationnel et permettra toujours l'évacuation des eaux de pluie. Toutes les fonctions de sûreté resteront donc opérationnelles.

Crue de référence + vents violents + perte de l'alimentation électrique extérieure

Les vents, mêmes forts, ne devraient pas endommager les structures massives que sont les quais maçonnés du fleuve ou la rehausse des berges du canal d'amenée.

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 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 qui fonctionne de manière gravitaire reste opérationnel. Seule une partie du réseau d'égouts sera indisponible à Tihange 1 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 du canal d'amenée. Lorsque le niveau de cette eau atteindra 71,35 m, elle s'écoulera vers le canal d'amenée. Aucun équipement de sûreté ne sera affecté 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 resteront donc opérationnelles.

Crue hors conception + fortes pluies + perte de l'alimentation électrique extérieure

Cette situation combine une crue supérieure à la crue de référence avec de fortes pluies et la perte des alimentations électriques extérieures. La plateforme étant alors partiellement ou totalement inondée par la Meuse, les fortes pluies n'engendreront 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 de leur propre source électrique dédiée, la perte d'alimentation extérieure n'a aucun impact.

Crue hors conception + vents violents + perte de l'alimentation électrique extérieure

Cette situation combine une crue supérieure à la crue de référence avec des vents forts et la perte d'alimentation électrique extérieure qui résulte des vents forts. En cas de crue hors conception, aucun équipement de sûreté ne peut être utilisé, 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 seront accessibles que par les toits. La circulation du personnel sera contrariée par les conditions météorologiques, ce qui ralentira les interventions. Toutefois, l'inertie thermique de l'eau présente dans les générateurs de vapeur laissera bien assez de temps (au moins 11 heures) pour effectuer les 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.

Cependant, le site dispose de trois motopompes mobiles identiques, chacune pouvant à elle seule assurer le refroidissement du cœur via les générateurs de vapeur et du combustible en piscine par appoint d'eau. L'inertie thermique des générateurs de vapeur (de 11 à 14 heures, selon l'unité) laissera bien assez de temps pour connecter cette pompe au circuit adéquat.

Crue hors conception + fortes pluies + vents violents + perte de l'alimentation électrique extérieure

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

Centrale nucléaire de Doel

Crue DBF + fortes pluies

En cas de crue DBF, le niveau de l'Escaut reste bien en dessous du niveau de la digue. Les pluies intenses seront collectées via les égouts ou s'infiltreront dans le sol sablonneux absorbant de la plateforme du site (voir Chapitre 4 sur les conditions météorologiques extrêmes). Les égouts restent opérationnels en cas de crue DBF.

Crue DBF + vents violents + perte de l'alimentation électrique extérieure

En cas de crue DBF, le niveau de l'Escaut reste bien en dessous du niveau de la digue. Combinée à des vents violents soufflant dans une direction défavorable, cela pourrait conduire à un franchissement de la digue par les vagues, comme mentionné précédemment.

Des vents violents peuvent également entraîner une perte de l'alimentation électrique extérieure (voir le Chapitre 4 sur les conditions météorologiques extrêmes). En cas de perte de l'alimentation électrique extérieure, les pompes du système d'égouts chargées d'évacuer l'eau vers l'Escaut ne fonctionneront plus. Les égouts perdront alors leur fonction de drainage, même si leur fonction de rétention d'eau sera préservée. L'analyse des conséquences du paragraphe 3.2.1.2 reste valable dans la mesure où elle ne prend pas en compte la capacité de drainage ou de rétention du système d'égouts.

Crue hors conception + fortes pluies + perte de l'alimentation électrique extérieure

Comme indiqué précédemment, le niveau de l'Escaut reste en dessous du niveau de la digue. Les pluies intenses ne seront plus évacuées par les égouts puisque les pompes du système d'égouts ne fonctionneront plus en cas de perte de l'alimentation électrique extérieure. Les égouts perdront leur fonction de drainage, même si leur fonction de rétention sera préservée, et l'eau de pluie s'écoulera vers les limites du site puis dans les polders.

Crue hors conception + vents violents + perte de l'alimentation électrique extérieure

Comme indiqué précédemment, le niveau de l'Escaut reste en dessous du niveau de la digue. En combinaison avec des vents violents soufflant dans une direction défavorable, cela pourrait conduire à un franchissement de la digue par les vagues. Une telle combinaison de forte tempête et de direction de vent défavorable peut également produire une pression considérable sur la digue, générant un risque de rupture de la digue.

Des vents violents peuvent également entraîner la perte de l'alimentation électrique extérieure (voir le Chapitre 4 sur les conditions météorologiques extrêmes). En cas de perte de l'alimentation électrique extérieure, les pompes du système d'égouts chargées d'évacuer l'eau vers l'Escaut cesseront de fonctionner. Les égouts perdront alors leur capacité de drainage, mais conserveront leur capacité de rétention. L'analyse des conséquences visées au point 3.2.1.2. reste valable dans la mesure où elle ne prend pas en compte la capacité de drainage ou de rétention du système d'égouts et dans la mesure où l'analyse suppose un niveau maximum de l'Escaut supérieur à la crue DBF.

Crue hors conception + fortes pluies + vents violents + perte de l'alimentation électrique extérieure

Il s'agit ici d'un cumul des deux scénarios précédents. La hauteur de l'eau sur le site augmentera dans ce cas de quelques centimètres par rapport à la hauteur d'eau qui a été évaluée pour le scénario d'un franchissement de la digue par les vagues ou d'une rupture de la digue tel que discuté au paragraphe 3.2.1.2. Les pompes diesel mobiles du site peuvent être utilisées en remplacement des pompes du système d'égouts.

3.2.2. Mesures pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse contre l'inondation.

3.2.2.1. Améliorations de l'infrastructure

Centrale nucléaire de Tihange

Des améliorations possibles de la protection contre une inondation hors conception (c'est-à-dire une crue excédant la crue de référence) ont déjà été identifiées dans le cadre de la révision périodique de sûreté. Des études de faisabilité sont en cours. Des modifications relatives aux études finalisées sont en cours.

Ces améliorations consistent en la mise en place de trois lignes de défense successives et indépendantes. Toutes les opérations visant à rendre ces trois lignes fonctionnelles seront initiées 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 la crue décennale dès que la Meuse aura atteint le niveau de la crue de référence. Les trois lignes de défense sont détaillées ci-après.

- **Protection périphérique du site** (première ligne de défense)

L'Université de Liège a calculé le niveau d'eau théorique sur le site produit par une crue décennale (débit de 3 488 m³/s). Un projet de protection périphérique du site adaptée à ce niveau est à l'étude.

L'objectif d'une telle protection périphérique 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. Ce mur inclurait des batardeaux qui, en cas de menace d'inondation du site, pourraient être utilisés pour obturer les ouvertures nécessaires à l'exploitation normale de la centrale (en particulier sur le canal d'amenée et sur les points de rejet de chaque unité). Des mesures techniques et organisationnelles additionnelles permettront de rejeter l'eau de refroidissement (eau brute ou eau de nappe) en Meuse et d'évacuer les eaux de pluie du site.

Aucun équipement ne sera donc affecté par la crue. Tous les systèmes, structures et composants nécessaires pour amener les unités à l'arrêt stable et contrôlé resteront disponibles.

Malgré cette protection périphérique, les unités de Tihange ne pourront pas rester en production vu que la capacité en 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, et pour faire face à une défaillance locale de cette première protection entraînant une entrée d'eau subite sur le site, la stratégie existante de passage en état d'arrêt stable et contrôlé des trois réacteurs en cas de menace d'inondation est conservée, et, de plus, la mise en place d'une seconde ligne de défense contre l'inondation des bâtiments est étudiée.

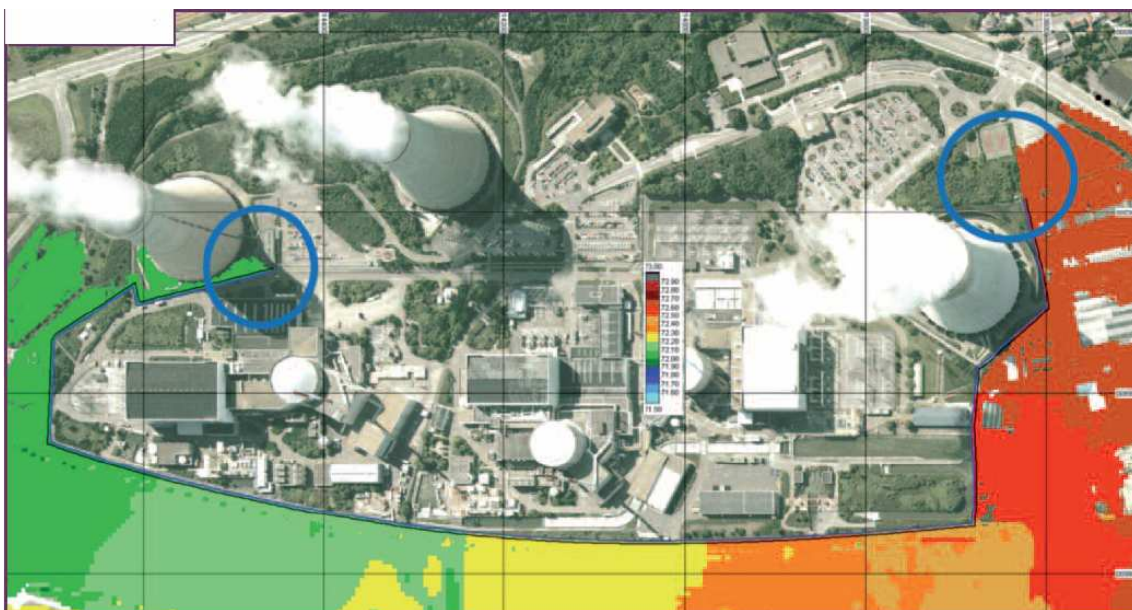


Figure 12 : Exemple de crue décennale et proposition de protection périphérique du site

- **Protections volumétriques locales** (deuxième ligne de défense)

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 assurant au moins le refroidissement du cœur et des piscines de désactivation. A cette fin, des batardeaux et autres dispositifs d'étanchéité seront 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.

- **Mobilisation de moyens non conventionnels sur le site** (troisième ligne de défense)

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

Ces moyens non conventionnels serviront entre autres à :

- augmenter la puissance des générateurs diesel du CMU afin d'augmenter les fonctions ajoutées au CMU et/ou d'augmenter le nombre de pompes pouvant être alimentées ;
- faciliter les accès et la communication ;
- remplacer un maximum d'éléments flexibles par des tuyauteries fixes afin de réduire les manutentions nécessaires pour aligner le circuit ;
- ajouter une pompe d'appoint primaire ;
- augmenter le nombre de dispositifs d'instrumentation secourus par les équipements du CMU pour faciliter le pilotage en cas d'accident.

Les équipements actifs de cette troisième ligne de défense devront être entreposés ou fixés à des hauteurs physiquement inaccessibles aux eaux d'inondation. Les eaux d'inondation devraient se retirer du site après environ cinq jours. Les moyens non conventionnels ajoutés au CMU auront eux aussi une autonomie supérieure à cette période.

Centrale nucléaire de Doel

Le site de Doel est déjà bien protégé contre l'inondation ; l'eau ne peut pénétrer sur le site que dans certaines conditions extrêmes. A titre de prévention, des sacs de sable sont installés aux entrées critiques. Ces sacs de sable seront finalement remplacés par des barrières permanentes pour s'assurer que l'eau reste à l'extérieur des bâtiments.

Pour prévenir tout affaiblissement possible de la digue, le mètre supérieur de la digue sera renforcé par des treillis en béton.

3.2.2.2. Améliorations procédurales

Centrale nucléaire de Tihange

Un jeu de procédures devrait renforcer celles déjà en place pour décrire l'entretien et la mise en œuvre des trois lignes de défense évoquées ci-dessus.

- Pour toutes les lignes de défense : une procédure d'inondation coordinatrice rédigée pour chaque unité, à utiliser dès le préavis de crue. Elle renverra à une série de procédures individuelles décrivant les opérations de mise à l'arrêt, le placement des moyens mobiles et la mise en place des trois lignes de défense ;
- Pour la première ligne de défense (protection périphérique) :
 - des procédures couvrant les opérations de mise en place des batardeaux ;
 - des procédures doivent être rédigées pour l'inspection et l'entretien périodiques de cette protection et l'entreposage des éléments mobiles.
- Pour la deuxième ligne de défense (protections volumétriques locales) :
 - des procédures couvrant les opérations de mise en place de cette protection ;
 - des procédures doivent être rédigées pour l'inspection et l'entretien périodiques des systèmes de protection volumétrique ainsi que leur entreposage.
- Pour la troisième ligne de défense (Mobilisation de moyens non conventionnels sur le site) :
 - des procédures couvrant le déploiement de ces moyens non conventionnels ;
 - des procédures doivent être rédigées pour l'entretien et l'inspection des dispositifs mobiles et/ou fixes.

Centrale nucléaire de Doel

Des ajustements additionnels seront apportés afin de mieux protéger les unités. Dès que des barrières permanentes auront été installées aux entrées critiques, elles seront intégrées dans les procédures du plan d'urgence.

3.2.2.3. Améliorations organisationnelles

Centrale nucléaire de Tihange

Les différentes couches organisationnelles seront adaptées à l'amélioration en cours des protections contre l'inondation (protection physique périphérique, protection volumétrique locale et utilisation de moyens mobiles).

Le plan interne d'urgence (PIU) devra aussi être adapté de manière à décrire spécifiquement l'organisation choisie pour faire face à une inondation simultanée des trois unités. Il sera aussi nécessaire de s'assurer que toutes les ressources nécessaires peuvent être mobilisées 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 de bonne compréhension des opérations à réaliser dans le cadre de ces trois nouvelles lignes de défense seront validés par des exercices périodiques.

Centrale nucléaire de Doel

Les procédures du plan d'urgence comportent également toutes les informations concernant les mesures d'organisation internes en cas de risque d'inondation. Des protocoles fixes sont établis en concertation avec l'autorité régionale en charge de la protection contre les inondations (« Waterwegen en Zeekanaal ») et d'autres instances publiques.

3.3. Synthèse des principaux résultats présentés par l'exploitant

Sur la base des informations reprises dans les rapports de l'exploitant et des renseignements complémentaires fournis par l'exploitant lors des réunions techniques et des inspections sur site, les principaux résultats concernant le risque d'inondation sont les suivants.

3.3.1. Centrale nucléaire de Tihange

Base de conception et vérification

La hauteur maximale de la crue postulée pour la conception du site de Tihange et de ses trois unités correspond au débit de la plus grande crue historiquement connue de la Meuse majorée de 20 % (cette crue de conception d'origine est appelée « crue de référence » dans le rapport de l'exploitant). A la phase de conception, cette crue de référence avait été évaluée à 2 200 m³/s, et le niveau correspondant de la Meuse à la limite amont du site de Tihange était estimé à 69,80 mètres. Aussi, la plateforme du site de la centrale nucléaire de Tihange a été construite à une altitude de 71,30 mètres (c'est-à-dire avec une marge de sécurité de 1,5 mètre), assurant un « site sec » sans avoir besoin d'ajouter des protections supplémentaires pour le site et les trois unités (exemples : digues ou protections périphériques).

Suite à de récentes crues dans la vallée de la Meuse, avec un débit maximum de 2 179 m³/s et un niveau d'eau correspondant de 70,47 mètres dans le canal d'amenée (en 1995), le risque d'inondation a été réévalué en utilisant une analyse statistique (analyse POT) des données de crues de débit élevés recensées sur une période de 47 ans (entre 1958 et 2004) pour obtenir des débits fluviaux pour différentes périodes de retour. Un modèle hydrodynamique en deux dimensions et des données bathymétriques et topographiques détaillées de la vallée de la Meuse ont également été utilisées pour déterminer les niveaux d'eau correspondants et les zones pouvant être inondées.

Cette analyse montre que la crue de référence, qui a entre-temps été réévaluée par l'exploitant à 2 615 m³/s (débit de 1995 + 20%), correspond à un niveau d'eau de 71,30 mètres, ce qui équivaut à l'altitude de la plateforme du site, et ce qui se caractérise par une période de retour se situant entre 100 ans (95^{ème} percentile) et 400 ans (médiane). Afin de renforcer la protection du site contre cette crue de référence et d'éviter toute non-conformité, un muret parasismique a été installé le long du canal d'amenée. En outre, ce muret devrait également empêcher toute entrée d'eau sur le site résultant de la propagation de vagues dues au vent dans le canal d'amenée (période de retour jusqu'à 100 ans).

Une analyse hydrodynamique d'une rupture totale du barrage d'Andenne-Seille, situé sur la Meuse en amont du site de Tihange, a également été effectuée. Il a été démontré qu'un tel événement entraînerait une montée du niveau de la Meuse à 70,54 mètres dans le canal d'amenée, ce qui est comparable à la crue de 1995 et considérablement inférieur au niveau d'eau de la crue de référence qui reste majorant.

Evaluation des marges de sécurité et mesures complémentaires

Lors de la réévaluation du risque de crue, l'Autorité de sûreté a demandé que les unités soient protégées contre une crue décennale, qui est la crue de conception (DBF) généralement adoptée dans les réglementations nucléaires nationales (Allemagne, France...). En cohérence avec la réglementation française (RFS I.2.e), une crue millénaire (70^{ème} percentile) majorée de 15 % a été retenue comme crue de conception. Pour la Meuse, au niveau de Tihange, cette crue de conception dérivée de l'analyse POT correspondrait à un débit du fleuve de 3 488 m³/s. Les niveaux d'eau correspondants seraient sensiblement supérieurs à l'altitude de la plateforme du site et ils provoqueraient l'inondation des trois unités et la perte de nombreux équipements de sûreté, y compris celle de la totalité des sources de courant électrique alternatif, celle de la source froide principale et celle de la source froide de substitution. L'accessibilité du site resterait, par contre, garantie puisque la route principale ainsi que l'entrée du site ne seraient pas inondées.

En conséquence, l'Autorité de sûreté a demandé en ensemble de mesures de protection complémentaires dans une optique de défense en profondeur, ainsi qu'une stratégie de crise dédiée (assorties des procédures appropriées).

En réponse à cette demande, l'exploitant a proposé d'instaurer trois niveaux de défense dont le principe a été accepté par l'Autorité de sûreté :

- une protection périphérique du site ;
- des protections locales des bâtiments abritant les équipements nécessaires pour amener et maintenir les unités dans un état stable et contrôlé, garantissant une zone non inondable sur chaque unité ;
- un ensemble de moyens non conventionnels (MNC) capables d'assurer le refroidissement des trois réacteurs et de toutes les piscines de désactivation en cas d'inondation des moyens conventionnels (suite à la perte des premier et second niveaux de défense) et pouvant être utilisés même pour des crues supérieures à la crue décennale.

Les deux premiers niveaux de défense n'ont pas encore été mis en œuvre (la conception et l'installation de ces protections sont à l'étude). Le premier niveau de défense a pour but de protéger le site de Tihange contre la nouvelle crue décennale prise comme base de conception et, par corollaire, en garantissant un site sec. Les deuxième et troisième niveaux de défense servent à protéger le site en cas de crue supérieure à cette nouvelle crue décennale de conception et à améliorer la défense en profondeur.

A la fin du mois de juin 2011, le troisième niveau de défense était partiellement réalisé suite à l'installation d'un ensemble de moyens non conventionnels sur chacune des trois unités (« Circuit de Moyens Ultimes », CMU) dans le but de maintenir les unités dans un état d'arrêt stable et contrôlé en attendant le remplacement ou la réparation des SSC endommagés. Une stratégie et une organisation d'intervention d'urgence, avec les procédures adéquates, ont aussi été élaborées.

En ce qui concerne la suite de la réalisation du troisième niveau de défense sur chaque unité, et principalement sur l'unité de Tihange 1 située en amont sur le site, l'exploitant a annoncé que des moyens ultimes redondants et/ou diversifiés (moyens principaux et moyens alternatifs) seraient prévus pour pomper de l'eau traitée disponible sur le site (provenant par exemple des réservoirs d'eau déminéralisée) ou de l'eau d'inondation, à l'intérieur des systèmes existants (EDN, CEI...) qui sont utilisés pour alimenter en eau les générateurs de vapeur et les piscines de désactivation du combustible usé (actuellement, cette diversification est prévue sur Tihange 2). En outre, les nouveaux puits de nappe phréatique seront mis en service en tant que source d'eau principale après inondation du site.

L'exploitant poursuivra l'identification des moyens (externes) additionnels ou des remplacements/réparations des équipements de sûreté endommagés, qui peuvent aussi s'avérer nécessaires dans le cadre de la stratégie à long terme en vue de maintenir les unités dans un état d'arrêt stable et contrôlé. Les procédures à long terme et à moyen terme correspondantes seront établies.

Dans le plan d'actions proposé par l'exploitant, il est prévu d'accorder un degré de priorité élevé à la finalisation des trois niveaux de défense. La planification proposée donne une échéance en 2014 pour la protection périphérique du site (1^{er} niveau de défense), en 2012-2013 pour les protections locales des bâtiments de chaque unité (2^{ème} niveau de défense), et 2012 pour le renforcement des moyens non conventionnels (3^{ème} niveau de défense). De plus, l'amélioration de la stratégie et de l'organisation d'intervention d'urgence, y compris les procédures correspondantes, est prévue en 2012-2013. Le premier niveau de défense a reçu le degré de priorité le plus élevé puisqu'il définit la nouvelle base de conception liée au risque d'inondation du site. Comme les deuxième et troisième niveaux de défense renforcent la protection du site en cas de crue supérieure à l'actuelle crue de référence, un haut degré de priorité leur a également été attribué.

3.3.2. Centrale nucléaire de Doel

Base de conception et vérification

La hauteur maximale de la crue postulée pour la conception du site de Doel et de ses quatre unités (+9,13 mètres DNG) correspond à la combinaison d'une marée haute et d'une tempête touchant l'estuaire de l'Escaut et dont la période de retour est estimée à 10 000 ans. La plateforme du site (altitude 8,86 mètres DNG) est protégée contre une telle crue par les digues le long de l'Escaut (hauteur initiale de +11,08 mètres DNG, portée ensuite à +12,08 mètres DNG).

En raison des récentes inondations en Belgique (par exemple dans la vallée de la Meuse) et dans les pays voisins (à la centrale nucléaire du Blayais en 1999 par exemple), le risque d'inondation du site de Doel a été réévalué en 2006-2007. Cette analyse montre que le site est bien protégé contre une montée du niveau de l'Escaut correspondant à la crue de conception (marée haute + tempête, 95^{ème} percentile, pour une période de retour de 10 000 ans).

Par ailleurs, les effets de la houle tels que le run-up des digues et le franchissement des digues ont été examinés. Grâce à la position favorable du site de Doel par rapport aux directions des vents dominants en cas de tempête, le déferlement de vagues par-dessus la digue, qui pourrait survenir pour des périodes de retour supérieures à 300 ans, conduirait, jusqu'à une tempête décennale, à des débits qu'il est possible de gérer puisque de telles quantités d'eau pourraient être évacuées (par exemple, par le système local d'égouts ou au besoin, à l'aide d'une grosse pompe mobile), tandis que l'entrée d'eau dans les bâtiments de sûreté pourrait être évitée à l'aide de sacs de sable (déjà disponibles) ou de barrières mobiles (dont l'installation est prévue et qui seront intégrées au plan interne d'urgence). Des pompes mobiles de plus petite taille, qui peuvent être utilisées pour évacuer l'eau ayant pénétré dans les bâtiments, sont également disponibles sur le site.

Par conséquent, les SSC des premier et second niveaux de protection restent disponibles pendant une crue de conception. De surcroît, l'accessibilité du site n'est pas menacée.

Evaluation des marges de sécurité et mesures complémentaires

Outre les effets d'un déferlement de vagues par-dessus la digue, une rupture de cette digue qui pourrait survenir après une érosion importante non traitée à temps, a également été étudiée. Dans le scénario le plus pénalisant, c'est-à-dire pour un niveau de l'Escaut (+10,2 DNG) correspondant à une tempête décennale (95^{ème} percentile), l'eau atteindrait les premiers bâtiments au bout d'une heure environ et la profondeur de l'eau pourrait être importante aux abords de certains bâtiments (de 20 à 50 cm en fonction principalement de la topographie locale du site).

Par voie de conséquence, les inspections périodiques des digues seront renforcées afin de détecter en temps utile toute dégradation éventuelle de la digue (due en particulier à l'érosion). Il est également prévu de suivre plus fréquemment le tassement de la digue. Enfin, les barrières mobiles précitées qu'il est prévu d'installer aux entrées des bâtiments sensibles devraient également constituer une protection adéquate en cas de rupture de la digue ou en cas d'inondation du site consécutive à un séisme, causée par le débordement des bassins des tours de refroidissement et par la rupture ou la fissuration de plusieurs réservoirs d'eau ou de canalisations importantes non sismiques (scénarios pour lesquels les conséquences potentielles ont été sommairement estimées dans le rapport de l'exploitant, au chapitre 2, dans la section relative aux risques d'inondation induits par un séisme).

3.4. Evaluation et conclusions de l'Autorité de sûreté

3.4.1. Centrale nucléaire de Tihange

L'approche suivie par l'exploitant pour réévaluer le risque d'inondation sur les trois unités du site de Tihange est conforme à la méthodologie définie par l'exploitant et approuvée par l'Autorité de sûreté.

L'analyse détaillée du rapport de l'exploitant, et les réunions techniques et inspections sur site de l'Autorité de sûreté qui ont suivi ont conduit à la conclusion que l'approche présentée et le plan d'action d'amélioration résultant sont adéquats.

Toutefois, l'Autorité de sûreté a identifié des demandes et des recommandations complémentaires visant à renforcer plus encore la robustesse des unités et du site contre le risque d'inondation :

1. L'exploitant devra prévoir une marge de sécurité pour le premier niveau de défense de manière à couvrir les incertitudes liées à la crue décennale (le muret de protection périphérique devrait donc être plus élevé que le niveau de crue correspondant à la crue décennale).
2. Pour le risque d'inondation, des améliorations additionnelles de la stratégie d'intervention d'urgence et de l'organisation de crise, incluant les procédures correspondantes, devraient être mises en œuvre d'ici la mi-2012.
3. La robustesse des moyens non conventionnels (MNC) actuellement installés, constituant le Circuit des Moyens Ultimes (CMU), devrait être améliorée davantage :
 - Dans la mesure où le CMU est actuellement nécessaire pour des crues supérieures à la crue de référence de 2 615 m³/s (c'est-à-dire des crues d'une période de retour excédant 100 à 400 ans), l'exploitant devrait déterminer des dispositions spécifiques applicables aux équipements importants pour la sûreté (essais, maintenance, inspections...).
 - Les sources d'électricité alternatives actuellement mises en œuvre pour alimenter les systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande ainsi que l'éclairage de secours devraient être améliorées au besoin et il devrait être vérifié si les équipements d'instrumentation et de contrôle-commande disponibles ou réactivés sont suffisants pour garantir la sûreté des trois unités.
 - Les caractéristiques techniques de ces moyens non conventionnels (MNC) devraient prendre en considération les conditions (météorologiques) défavorables auxquelles ces moyens peuvent être soumis pendant toute la durée d'utilisation. Si cet aspect n'est pas couvert par la conception, une protection adéquate ou une stratégie compensatoire devraient être développées.
4. La robustesse de la stratégie d'intervention d'urgence et de l'organisation de crise, actuellement en place, devrait être améliorée davantage au niveau des aspects suivants :
 - Le système d'alerte de crue constitue un facteur clé. Ce système est basé sur la communication directe entre le service régional compétent pour établir des prévisions des débits dans le bassin mosan (SETHY, qui utilise un système de prévision dédié) et la centrale nucléaire (Tihange 2 étant le seul point de contact et étant chargée d'avertir Tihange 1 et Tihange 3). En conséquence, sa robustesse et son efficacité devraient être améliorées. En particulier :
 - Le protocole entre la centrale nucléaire et le SETHY devrait être formalisé dès que possible.
 - L'exploitant devrait régulièrement tester les canaux de communication sécurisés et les données transmises (c'est-à-dire, les mesures en direct et les prévisions des débits du fleuve).
 - L'exploitant devrait organiser des exercices d'intervention d'urgence en impliquant à la fois le personnel de la centrale et celui du SETHY.

- Les critères précis pour déclencher le plan d'urgence interne et démarrer la « phase d'alerte » et les actions associées devraient être définis clairement dans les procédures d'urgence applicables.
 - Des moyens de transport sur site de personnel et de matériel vers les unités, au sein des unités ou d'une unité à une autre, alors que le site est inondé, devraient être mis en œuvre et pris en compte dans la stratégie d'intervention d'urgence.
5. Les risques internes potentiellement induits par l'inondation (incendie, explosion) devraient être examinés et les mesures complémentaires devraient être prises lorsque nécessaire (exemple : pour pallier la perte du circuit d'extinction automatique d'incendie en cas de crue supérieure à la crue de référence). La défaillance potentielle du Circuit de Moyens Ultimes (CMU) en cas d'incendie induit, plus particulièrement en raison des dépendances lorsque le CMU est raccordé au circuit d'extinction d'incendie (CEI), devrait être examinée et il conviendrait de remédier aux faiblesses potentielles identifiées.

3.4.2. Centrale nucléaire de Doel

L'approche suivie par l'exploitant pour réévaluer le risque d'inondation sur les quatre unités du site de Doel est conforme à la méthodologie définie par l'exploitant et approuvée par l'Autorité de sûreté.

L'analyse détaillée du rapport de l'exploitant, et les réunions techniques et inspections sur site de l'Autorité de sûreté qui ont suivi ont conduit à la conclusion que l'approche présentée et le plan d'action d'amélioration résultant sont adéquats.

Toutefois, l'Autorité de sûreté a identifié des demandes et des recommandations complémentaires visant à renforcer plus encore la robustesse des unités et du site contre le risque d'inondation :

1. Les caractéristiques techniques des moyens non conventionnels (MNC) qui peuvent être utilisés en cas d'inondation des bâtiments de sûreté (pour toutes les causes potentielles) devraient prendre en compte les conditions (météorologiques) défavorables auxquelles ces moyens peuvent être soumis pendant toute la durée d'utilisation. Si cet aspect n'est pas couvert par la conception, une protection adéquate ou une stratégie compensatoire devraient être développées.
2. Amélioration des procédures post-sismiques (I-QM-01) : après un séisme, il convient de vérifier rapidement et visuellement si le débordement du bassin de la tour de refroidissement provoque ou peut provoquer une inondation imminente (par exemple suite à l'obstruction du canal de sortie). Dans ce cas, les pompes CW doivent être rapidement mises à l'arrêt.
3. Comme de récentes inspections ont révélé que la digue approchait à certains endroits la hauteur minimale requise (critère des spécifications techniques), la hauteur de la digue devrait être inspectée plus régulièrement (par exemple tous les deux ans, et au moins tous les cinq ans, plutôt que tous les dix ans) afin d'éviter, en cas de crue couverte par la conception du site, qu'une vague générée par le vent ne déferle par-dessus la digue (un franchissement de la digue est possible pour une période de retour supérieure à 300 ans).

4. Conditions météorologiques extrêmes

Afin de produire un rapport national autoportant en vue du processus d'examen par les pairs à venir, les informations pertinentes présentées par l'exploitant dans ses rapports de tests de résistance sont d'abord rappelées.

A la fin de ce chapitre figure une section dans laquelle sont présentées l'évaluation et les conclusions de l'Autorité de sûreté belge (AFCN et Bel V).

Certains phénomènes naturels, comme les pluies torrentielles, les vents violents, la tornade, la foudre, la neige et la grêle, peuvent affecter les sites de Doel et Tihange. Les cyclones tropicaux, typhons et ouragans, les tempêtes de sable ou de poussière et les trombes marines, ne sont pas applicables aux deux sites pour d'évidentes raisons géographiques, et ne sont donc pas analysés. Aucun des aléas analysés ne peut affecter les fonctions de sûreté des deux sites.

4.1. Fortes pluies

4.1.1. Réévaluation des précipitations prises en compte à la conception

Centrale nucléaire de Tihange

Les données relatives aux précipitations prises en compte à la conception des unités de Tihange se basent sur les observations effectuées par l'Institut Royal Météorologique (IRM) à la station de Huy-Statte, sur la période 1901-1930. Ces observations météo sont valables pour le site de Tihange, qui est 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 a publié des courbes intensité/durée/fréquence (IDF) et des tables quantité/durée/fréquence (QDF) pour toutes les communes. Le tableau suivant reprend la table QDF pour la commune de Huy.

Tableau 10 : Table QDF pour la commune de Huy (quantités extrêmes de pluie déposée pendant une certaine durée (D) pour la période de retour (T) considérée ; les valeurs sont exprimées en mm déposés pendant la durée D (1 mm = 1 l/m²))

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 hour	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	68,5	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

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
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

En 1999, la numérisation de données anciennes concernant les pluies relevées à la station d'Uccle a été achevée.

Il en résulte 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. 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, les recherches 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 (de une à plusieurs heures). Des pluies extrêmes ont eu lieu à deux reprises en Août 2011. Les valeurs communiquées par l'Institut Royal Météorologique sont :

- le 18/08/2011 à Bertem : 36,6 mm en 1 heure et 70,1 mm en 24 heures ;
- les 22 et 23/08/2011 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.

Les données disponibles montrent que l'intensité des précipitations n'a pas évolué de manière significative depuis la mise en service de Tihange 1. Les valeurs utilisées lors de la conception restent adéquates.

Centrale nucléaire de Doel

Les données de l'Institut Royal Météorologique relatives aux pluies les plus intenses tombées pendant de courtes durées, qui étaient disponibles à la conception des unités, sont reprises dans le rapport de sûreté des unités de Doel. Elles sont basées sur les quantités mesurées dans la région d'Anvers-Doel sur la période 1901-1930. Les chutes de pluies les plus fortes enregistrées au cours d'une même journée étaient de 60 mm.

Tableau 11 : Table QDF pour la commune d'Anvers (quantités extrêmes de pluie déposée pendant une certaine durée (D) pour la période de retour (T) considérée ; les valeurs sont exprimées en mm déposés pendant la durée D (1 mm = 1 l/m²))

D/T	2 ans	5 ans	6 ans	10 ans	25 ans	30 ans	50 ans	100 ans
1 min	2,0	2,8	3,0	3,3	4,0	4,1	4,5	5,0
5 min	7,8	10,2	10,6	11,8	13,9	14,3	15,5	16,9
10 min	9,2	12,1	12,5	14,1	16,4	16,9	18,2	20,1
20 min	10,9	14,4	15,0	16,6	19,5	20,1	21,7	23,8
30 min	12,0	15,9	16,5	18,4	21,6	22,2	23,9	26,3
40 min	12,8	17,2	18,1	20,7	26,0	27,1	30,6	35,9
1 heure	14,2	19,2	20,2	23,4	30,2	31,8	36,5	44,0
2 heures	16,7	22,7	23,9	27,8	35,8	37,6	43,2	52,2
4 heures	19,8	26,9	28,4	32,9	42,4	44,6	51,2	61,8
6 heures	21,9	29,7	31,3	36,3	46,9	49,2	56,6	68,2
9 heures	24,2	32,8	34,7	40,1	51,7	54,3	62,4	75,3
12 heures	26,0	35,2	37,1	43,0	55,5	58,3	67,1	80,8
18 heures	28,7	38,8	41,0	47,5	61,2	64,4	74,0	89,3
24 heures	30,7	41,6	44,0	51,0	65,8	69,1	79,4	95,8

Les autorités flamandes ont publié une édition plus récente des courbes QDF en se basant sur les précipitations mesurées à Deurne de 1967 à 1997. Une comparaison avec ces données plus récentes a eu lieu dans le cadre de la révision décennale de sûreté et a révélé que les données disponibles à la conception de la centrale étaient enveloppes.

En conséquence, l'intensité des pluies retenue comme base de conception est toujours valable.

4.1.2. Evaluation des marges de sûreté contre les fortes pluies

Centrale nucléaire de Tihange

Les pluies torrentielles sont drainées vers le réseau d'égouts.

Le système d'égouts de Tihange est indépendant du réseau public. Chaque unité possède son propre circuit de drainage 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 » a la même configuration que ceux des unités 2 et 3 : une canalisation de rejet aboutissant dans la Meuse à une profondeur de quelques mètres. Par contre, la partie « Ouest » du réseau de l'unité 1 consiste à collecter les eaux de rejets 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.

Le réseau d'égouts a été dimensionné en prenant compte 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 dépassant le régime instantané de 150 litres par seconde et par hectare (ce qui correspond à 54 mm/h) sont peu communes sur une durée suffisante pour créer les conditions de remplissage des canalisations sur toute leur hauteur. En fait, seule une partie des eaux de pluie est collectée par les égouts, l'autre partie étant retenue par différentes surfaces, évaporée ou infiltrée dans le sol.

Lorsque le site de Tihange a été conçu, les égouts ont été dimensionnés en utilisant une valeur de 150 litres par seconde et par hectare pour les surfaces de routes, parkings et autres aires imperméabilisées.

En comparant 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.

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 conception (débit de 2 615 m³/s, correspondant à un niveau de 71,30 m).

Centrale nucléaire de Doel

En cas de pluies torrentielles, l'eau stagnante est rapidement évacuée du site. Deux dispositifs jouent ici un rôle majeur :

- le système d'égout, conçu pour absorber des pluies d'orages conformément aux normes de l'IRM,
- la digue qui consiste en une couche sablonneuse drainante d'une épaisseur de 6 à 7 mètres.

Le système d'égout du site de Doel est divisé en cinq secteurs. L'eau de pluie est dirigée vers cinq puits répartis sur le site (puits H). Chaque puit est équipé de deux pompes immergées (et d'une pompe de réserve) chargées d'évacuer l'eau.

Le débit du système d'égouts a été réévalué à partir des plans d'égouts et des caractéristiques des puits d'évacuation et de leurs pompes. Cette évaluation a consisté en une simulation hydraulique des « pluies composites » pour diverses périodes de retour. Ces pluies composites théoriques ont été déterminées sur la base des données historiques de l'Institut Royal Météorologique. Les cas suivants ont été évalués : périodes de pluie d'une durée de 6 heures avec une période de retour de 5, 10 et 20 ans, et périodes de pluie d'une durée de 48 heures avec une période de retour de 100 ans.

Le système d'égout pourrait localement s'avérer insuffisant pendant quelques dizaines de minutes aux abords de certains bâtiments des unités de Doel 3 et Doel 4, seulement pour des pluies composites d'une période de retour de 100 ans. Dans ce cas, un faible volume d'eau stagnante est attendu, qui est évacué par les égouts dès que la pluie perd en intensité.

4.1.3. Mesures pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse contre les fortes pluies

Centrale nucléaire de Tihange

Un calcul est en cours pour confirmer la capacité d'évacuation en tout point des réseaux d'égouts. Des améliorations seront mises en œuvre en fonction des résultats et de leurs conséquences potentielles.

Centrale nucléaire de Doel

Sur la base de l'évaluation des pluies les plus intenses avec les périodes de retour associées, et eu égard aux conséquences potentielles limitées sur le site, aucune mesure d'amélioration n'est actuellement envisagée.

4.2. Vents violents

4.2.1. Réévaluation des vents violents pris en compte à la conception

Les enregistrements anémométriques effectués en Belgique de 1840 à 1949 indiquent que la vitesse du vent n'a dépassé que deux ou trois fois les 40 m/s durant cette période, avec en particulier un pic à 45 m/s en 1929 à Haren.

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

La vitesse de vent la plus élevée constatée à ce jour en Belgique est de 46,7 m/s en 1990 à Beauvechain.

La vitesse de vent prise comme base de conception des sites de Doel et Tihange est définie comme « vent maximum exceptionnel » selon les termes de la norme NBN-460 relative à l'action du vent sur les constructions. Cette vitesse de vent de conception a été définie à 49 m/s à 25 mètres au-dessus du sol. Une loi de variation de vitesse de vent est appliquée pour les autres hauteurs.

En conséquence, la vitesse du vent prise en compte en tant que base de conception de Doel et de Tihange est toujours adaptée.

4.2.2. Evaluation des marges de sûreté contre les vents violents

Résistance des bâtiments

La vitesse de vent de conception pour les deux sites, fixées à 49 m/s conformément à la norme NBN-460, est à comparer aux vitesses de vents enregistrées localement au cours des années passées.

Les valeurs enregistrées à Bierset, à proximité du site de Tihange, révèlent que :

- selon les données les plus récentes (de 1993 à 2010), il n'y a pas eu de valeur supérieure au record de vitesse de vent relevé en 1990 à Beauvechain (46,7 m/s) ;
- la vitesse de vent maximale pour une période de retour de 100 ans est de 44 m/s (rafale), et cette vitesse maximale descend à 34 m/s (rafale) dans des endroits plus abrités.

Par ailleurs, dans les études sur le risque d'inondation à Tihange, la vitesse moyenne maximale du vent (mesure moyenne sur dix minutes) a été fixée à 25 m/s (Bierset, 1985-2003).

A proximité du site de Doel, les valeurs enregistrées révèlent que :

- selon les données les plus récentes (Deurne, de 1993 à 2010), il n'y a pas eu de valeur supérieure au record de vitesse de vent relevé en 1990 à Beauvechain (46,7 m/s) ;
- la vitesse de vent maximale (rafale) pour une période de retour de 100 ans s'élève à 41,5 m/s à Oorderen/Port d'Anvers et à 41 m/s à Deurne.

Par ailleurs, lors de la révision décennale de sûreté, la vitesse moyenne maximale du vent (mesure moyenne sur dix minutes) a été fixée à 20 m/s (Deurne, 2003-2009).

Ces vitesses de vent sont sensiblement inférieures à la vitesse de vent de la base de conception. De plus, la norme NBN-460 s'applique à la construction de tous les bâtiments en général. Or, les bâtiments de sûreté ont été dimensionnés pour résister à des charges mécaniques encore plus élevées que celles produites par les vents violents (par exemple, les charges extrêmes dues aux tornades).

Perte de l'alimentation électrique

Un autre effet potentiel des vents forts est qu'ils peuvent affecter le réseau électrique haute tension hors du site ou même des postes à haute tension sur le site. Cela peut entraîner la perte totale ou partielle des alimentations électriques extérieures (LOOP), mais les installations ont été conçues pour faire face à cette situation.

Houle

Enfin, les vents forts peuvent aussi créer des vagues à la surface de l'eau, pouvant surpasser les digues et autres structures protectrices le long des sites et entraîner une inondation locale.

L'Université de Liège a étudié l'amplitude des vagues produites par des vents exceptionnellement forts sur la portion de Meuse faisant face au site de Tihange.

Au niveau du site de Tihange, la hauteur maximale des vagues calculée est d'environ 0,5 m pour un vent d'une vitesse moyenne journalière de 25 m/s, soit le maximum jamais mesuré à Bierset. Pour le vent maximal de conception, soit une rafale de 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 des 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 référence, 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 conditions normales, le niveau de la Meuse à la hauteur du site de Tihange est régulé à 69,25 m. Le niveau des digues maçonnées et les rehausses des berges du canal d'aménée atteignant au minimum 71,35 m, des vagues de quelques dizaines de centimètres ne poseraient 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 les vents pourraient surpasser les digues. L'eau atteignant le site retournerait alors en Meuse par le réseau d'égout et le niveau d'eau présent en bordure de site n'excéderait pas quelques centimètres.

Les équipements importants pour la sûreté ne sont pas situés près des digues et il n'y a pas de risques qu'ils soient inondés.

La propagation des vagues dans le canal d'aménée et le risque de débordement par-dessus le muret longeant ce canal ont également été considérés. Les nombreux piliers, et le fait que les vagues en Meuse se propagent le long du fleuve perpendiculairement à l'axe de l'ouverture du canal d'aménée, assurent un amortissement important des vagues. Par conséquent, on estime que seule la situation de « crue de référence » combinée à de forts vents soufflant sur la Meuse peut engendrer des vagues d'une dizaine de centimètres dans le canal d'aménée. Ces vagues pourraient franchir le muret, à une échelle limitée toutefois. Cette petite quantité d'eau sur le site serait alors évacuée par le réseau d'égouts et ou s'infiltrerait dans le sol. Si nécessaire, les pompes mobiles disponibles sur le site seraient utilisées.

A Doel, la révision décennale de sûreté a confirmé que des vents de direction défavorable combinés à un niveau des flots élevés dû à une forte tempête pourrait produire des vagues franchissant la digue. Cette éventualité a déjà été abordée dans le Chapitre 3 (Inondations).

4.2.3. Mesures pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse contre les vents forts

Etant donné l'adéquation de la base de conception et les marges de sûreté disponibles pour les différents scénarios, aucune mesure complémentaire n'est requise pour améliorer la robustesse des unités sur les deux sites.

4.3. Tornades

En Belgique, il est improbable que la violence d'une tornade dépasse le niveau F2 sur l'échelle Fujita dans sa version originale (1971). Cela correspond à des vitesses de vents allant de 50 m/s à 70 m/s (180 à 250 km/h).

Parmi les tornades qui sont survenues en Belgique sur la période 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 tempête du 10 août 1925. On a estimé qu'à cette occasion, la vitesse du vent avait atteint localement jusqu'à 250 km/h.

Une autre tornade d'intensité élevée s'est produite le 20 septembre 1982 dans le village de Léglise. 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, avec des toitures emportées et des bâtiments détruits.

Un évènement similaire a eu lieu à Oostmalle le 25 juin 1967. De manière générale, des tornades de plus faible intensité sont rapportées chaque année en Belgique.

Il n'existe pas de collecte systématique de données concernant les tornades en Belgique (en particulier pour ce qui concerne leur intensité). Il convient cependant de noter que :

- 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 (échelle Fujita améliorée, 2007) ; des tornades classées EF3 y sont probablement rares sur le plan probabiliste, bien que la tornade qui a frappé Hautmont, dans le nord de la France près de la frontière belge, a atteint une intensité EF4 à certains endroits ;
- il n'y a pas de tendance marquée dans l'évolution des statistiques ;
- il n'y a pas d'endroits en Belgique où les tornades sont rapportées plus fréquemment ;
- la moitié des tornades en Belgique survient pendant l'été, mais elles peuvent aussi apparaître en hiver ;
- la durée de vie d'une tornade en Belgique se limite à quelques minutes dans la plupart des cas ; le diamètre des tourbillons varie de quelques mètres à quelques dizaines de mètres, et la longueur du trajet s'étend de quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres.

4.3.1. Réévaluation des tornades prises en compte à la conception

La base de conception des structures est basée sur la vitesse de vent maximale de la tornade considérée.

Centrale nucléaire de Tihange

La tornade de conception retenue pour Tihange 1 produit des vents de 70 m/s (250 km/h). La résistance à ces vents de tous les bâtiments a été vérifiée lors de la première révision périodique de sûreté (1985). Des mesures correctives ont alors été prises, sauf pour la cheminée de ventilation qui ne résisterait pas, sans toutefois avoir d'impact sur les équipements de sûreté en cas de chute.

Le risque lié aux projectiles n'a pas été pris en compte pour la conception du bâtiment des auxiliaires électriques (étage supérieur) ni pour celui des générateurs diesels de secours (GDS). Pour ce dernier bâtiment, les murs de béton armé résistant au séisme DBE garantissent que les missiles générés par la tornade n'entraîneront pas la perte des groupes diesels de secours.

Pour les Tihange 2 et Tihange 3, ainsi que pour le bâtiment DE, la tornade de conception considérée présente une vitesse de vent atteignant 107,3 m/s (385 km/h). Cette tornade de conception n'a toutefois été prise en compte que pour les bâtiments « bunkerisés ». Les cheminées des deux unités n'ont pas été conçues pour de tels vents, mais l'impact de leur chute a été étudié et il en résulte que les bâtiments « bunkerisés » sont protégés.

La probabilité qu'une tornade d'une vitesse supérieure à 70 m/s atteigne un point de Tihange est estimée à moins de $5,8 \cdot 10^{-7}$ /an, soit une période de retour d'environ 2 millions d'années. Pour autant, Tihange 2 et Tihange 3 ainsi que le bâtiment DE ont été conçus en considérant une tornade de conception encore plus grande forte avec une vitesse de vent de 107,3 m/s (385 km/h). Cette tornade de conception est préconisée par l'USNRC Regulatory Guide 1.76 pour les régions à plus haut risque des États-Unis.

Centrale nucléaire de Doel

Pour Doel 1/2, la protection contre les tornades s'est basée sur une vitesse de vent de 70 m/s (250 km/h). Durant la première révision décennale de sûreté (1985), il a été vérifié si les structures de catégorie 1 (c'est-à-dire les structures de sûreté) résisteraient à la vitesse de vent de conception. Cette vérification a également inclus l'enceinte secondaire, le GNS, le BAR, le GNH, les locaux RM, le GEH, le GMH et les cheminées.

Chaque bâtiment en béton pris en compte présentait une protection suffisante contre des projectiles générés par la tornade de conception.

Pour Doel 3 et Doel 4, la protection contre les tornades s'est basée sur une vitesse de vent de 107,3 m/s (385 km/h). Les structures bunkerisées résisteraient aux tornades et aux projectiles potentiels entraînés par une tornade.

Ce phénomène météorologique a également été considéré pour certains bâtiments non bunkerisés de catégorie 1, comme certaines parties du GNH (zones de pénétrations et cuves de stockage de gaz radioactifs) et certaines parties de l'OVG2 (qui relie le bassin de refroidissement d'ultime secours KVR au bunker BKR).

Le bâtiment SCG lui-même n'a pas été conçu pour résister à une tornade. Néanmoins, les conteneurs à l'intérieur du SCG peuvent résister à l'impact d'un projectile, à l'impact de l'effondrement du bâtiment ou à l'impact des débris du bâtiment.

Les bâtiments de sûreté des unités Doel 1/2 sont protégés contre une tornade de conception dont la vitesse maximale des vents est de 70 m/s. Il est très improbable qu'une tornade avec une vitesse de vent excédant 70 m/s apparaisse sur le site de Doel. Cette probabilité est estimée à environ $6 \cdot 10^{-7}$ /an. La probabilité qu'une tornade avec une vitesse de vent excédant 107 m/s apparaisse sur le site de Doel est encore plus faible, à environ $3 \cdot 10^{-8}$ /an. Toutefois, une vitesse de vent de 107 m/s a été prise comme base de conception pour les unités Doel 3 et Doel 4.

4.3.2. Evaluation des marges de sûreté contre les tornades

Les conséquences globales d'une tornade sur les installations vont dépendre de son intensité sur l'échelle Fujita :

- tornade avec une vitesse de vent inférieure à 50 m/s (180 km/h) : dégâts légers (des dommages aux toitures, cheminées, portes et fenêtres, arbres déracinés) ;
- tornade avec une vitesse de vent de 50 à 70 m/s (180 à 250 km/h) : dégâts importants (toitures arrachées, voitures et camions déplacés, graves dégâts aux maisons, structures à fondations légères emportées) ;
- tornade avec une vitesse de vent de 70 à 107 m/s (250 à 385 km/h) : dégâts catastrophiques (maisons détruites, voitures et arbres propulés en l'air comme des projectiles).

En général, la tornade n'est pas le critère déterminant pour la conception des bâtiments, en comparaison avec d'autres événements externes comme le souffle d'une explosion ou le crash d'un avion. Cela signifie que l'impact de projectiles associés à une tornade est généralement couvert par ceux des autres événements externes. Cela signifie également que la plupart des bâtiments est dimensionnée de sorte qu'ils puissent supporter des tornades plus intenses que la tornade de conception. De toute évidence, il n'est pas probable que tous les bâtiments s'effondrent simultanément dès qu'une vitesse de vent spécifiée est dépassée. En outre, la largeur de la zone fortement dévastée est limitée.

Centrale nucléaire de Tihange

Les conséquences globales d'une tornade sur le site de Tihange, en considérant son trajet le plus pénalisant, sont résumées dans le tableau suivant pour diverses intensités de tornades.

Tableau 12 : Conséquences potentielles en fonction de l'intensité d'une tornade

Intensité de la tornade	Tihange 1	Tihange 2 et Tihange 3
Vitesse de vent jusqu'à 50 m/s	<ul style="list-style-type: none"> Perte de l'alimentation électrique extérieure (LOOP) <p>→ inclus dans la base de conception</p>	<ul style="list-style-type: none"> Perte de l'alimentation électrique extérieure (LOOP) <p>→ inclus dans la base de conception</p>
Vitesse de vent de 50 à 70 m/s	<ul style="list-style-type: none"> Perte de l'alimentation électrique extérieure (LOOP) Perte de la source froide principale <p>→ Repli sur le GDS ou le SUR</p>	<ul style="list-style-type: none"> Perte de l'alimentation électrique extérieure (LOOP) Perte de la source froide principale Station black-out (SBO) (1^{er} niveau) <p>→ Repli sur le BUS</p>
Vitesse de vent de 70 à 107 m/s	<ul style="list-style-type: none"> Perte de l'alimentation électrique extérieure (LOOP) Perte de la source froide principale <p>→ Repli sur le GDS ou le SUR</p>	<ul style="list-style-type: none"> Perte de l'alimentation électrique extérieure (LOOP) Perte de la source froide principale Station black-out (SBO) (1^{er} niveau) <p>→ Repli sur le BUS</p>

Les équipements suivants – implantés à l'extérieur des bâtiments – peuvent être vulnérables aux tornades de haute intensité (vitesse de vent supérieure à 50 m/s) :

- une tornade sur le site ou à proximité peut entraîner la perte des alimentations électriques externes (LOOP) dans la mesure où elle peut endommager le poste haute tension de Gramme, les lignes entre ce poste et la centrale, ou le poste haute tension d'une ou plusieurs unités ; cette situation est couverte par la base de conception de chaque unité ;
- sur les trois unités, les moteurs des pompes CEB (fournissant l'eau brute de la Meuse) sont exposés aux projectiles et peuvent donc être perdus ; ceci est sans conséquence grave :
 - A Tihange 1, les GDS peuvent être refroidis soit par le système CEB, soit par de l'eau de nappe (fournie par deux puits éloignés l'un de l'autre, et situés à plus de 100 mètres des pompes CEB, avec pour chacun deux pompes distinctes). Il est très improbable 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 qui n'offre qu'une faible résistance, il est encore plus improbable qu'un projectile tombe dans le puits après l'envol de la tôle ondulée.
Les pompes disponibles (CEB ou eau de nappe) reprennent l'alimentation en eau des GDS, bien que ceux-ci doivent être redémarrés manuellement après raccordement au circuit d'eau de nappe.
Par ailleurs, le diesel d'ultime repli (DUR, refroidi à l'air) et le système d'ultime repli (SUR) restent pleinement opérationnels.
 - A Tihange 2 et Tihange 3, la perte des pompes CEB entraîne la perte des GDS. Toutefois, toutes les pompes CEU (de Meuse et de nappe) restent opérationnelles dans la mesure où elles sont « bunkerisées ». En conséquence, le bâtiment d'ultime secours (BUS) assurera de façon automatique le maintien de l'unité dans un état stable et contrôlé. Si le réseau électrique extérieur est perdu, les groupes diesel localisés dans le BUS reprennent l'alimentation électrique des équipements.
- le groupe diesel de réserve (GDR), situé physiquement sur l'unité Tihange 2, est refroidi par un système d'aéro-réfrigérant extérieur vulnérable aux projectiles. Si une unité est alimentée par ce GDR, un seul générateur diesel sera perdu. Cette simple défaillance fait partie de la base de conception. Par ailleurs, les générateurs diesel d'ultime secours (DUR pour Tihange 1 et GDU pour Tihange 2 et Tihange 3) restent opérationnels et maintiennent leur unité respective dans un état stable.

Centrale nucléaire de Doel

Le tableau ci-dessous synthétise les conséquences potentielles d'une tornade sur les unités de Doel.

Tableau 13 : Conséquences potentielles en fonction de l'intensité d'une tornade

Intensité de la tornade	Doel 1/2	Doel 3 et Doel 4
Vitesse de vent jusqu'à 50 m/s	<ul style="list-style-type: none"> Possibilité de perte partielle ou totale de l'alimentation électrique extérieure (LOOP) → inclus dans la base de conception	<ul style="list-style-type: none"> Possibilité de perte partielle ou totale de l'alimentation électrique extérieure (LOOP) → inclus dans la base de conception
Vitesse de vent de 50 à 70 m/s	<ul style="list-style-type: none"> Perte de l'alimentation électrique extérieure (LOOP) Perte de la source froide (RW) Station black-out (SBO) (1^{er} niveau) → Repli sur le GNS	<ul style="list-style-type: none"> Perte de l'alimentation électrique extérieure (LOOP) Perte de la source froide (RN) Station black-out (SBO) (1^{er} niveau) → Repli sur le BKR
Vitesse de vent de 70 à 107 m/s	<ul style="list-style-type: none"> Hors conception → en général, la tornade n'est pas le critère déterminant pour la conception des bâtiments ; on considère que les bâtiments Doel 1/2 résisteraient probablement à une telle tornade	<ul style="list-style-type: none"> Perte de l'alimentation électrique extérieure (LOOP) Perte de la source froide (RN) Station black-out (SBO) (1^{er} niveau) → Repli sur le BKR

Les équipements suivants – implantés à l'extérieur des bâtiments – peuvent être vulnérables aux tornades de haute intensité (vitesse de vent supérieure à 50 m/s) :

- une tornade en dehors du site pourrait endommager les alimentations électriques externes, entraînant un LOOP partiel ou total ;
- une tornade frappant le site pourrait endommager les postes à haute tension de la centrale, entraînant également un LOOP partiel ou total ;
- les aéro-réfrigérants des générateurs diesel de secours de Doel 1/2 se trouvent à l'extérieur sur le toit du bâtiment GMH, et ceux des générateurs diesel de secours de Doel 3 et Doel 4 se trouvent à l'extérieur sur le toit du bâtiment GEH ; les circuits de refroidissement ont été conçus pour rester opérationnels sous les plus forts vents possibles pour le site de Doel ;
- les tours de refroidissement du système d'eau brute (RW) des unités Doel 1/2, qui font partie de la première source froide alternative, ne sont pas protégées contre les tornades ;
- les tours de refroidissement du système d'eau brute (RN) des unités Doel 3 et Doel 4, qui font partie de la première source froide alternative, ne sont pas protégées contre les tornades ; elles ont toutefois été conçues pour pouvoir faire face à des rafales de vent exceptionnelles ;
- les bassins de refroidissement (KVR), qui font partie de la seconde source froide alternative de Doel 3 et Doel 4, sont à l'air libre ; une tornade pourrait affecter l'inventaire en eau d'un bassin, mais il n'est pas possible que l'inventaire de tous les bassins soit perdu simultanément.

4.3.3. Mesures pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse contre les tornades

Les unités Tihange 2 et Tihange 3, d'une part, et les unités Doel 3 et Doel 4, d'autre part, ont été conçues pour résister à une tornade de conception d'une intensité jamais observée dans ces régions.

Tihange 1 et Doel 1/2 prennent en compte une tornade de conception d'intensité inférieure. Pour autant, une telle tornade est très peu commune en Europe.

Dans la plupart des cas, la résistance à une tornade n'est pas le critère déterminant pour la conception des bâtiments, dans la mesure où beaucoup d'entre eux peuvent résister à des charges mécaniques bien supérieures aux forces exercées par la tornade de conception.

Dans des conditions extrêmes, une tornade importante pourrait causer la perte partielle ou totale de l'alimentation électrique extérieure, éventuellement combinée avec un station black-out (SBO) (1^{er} niveau) ou avec la perte d'une des sources froides. Ces scénarios sont traités dans le Chapitre 5.

Aucune mesure dédiée à augmenter la robustesse des installations contre les tornades n'est nécessaire sur aucun des deux sites.

4.4. Foudre

4.4.1. Réévaluation de la foudre prise en compte à la conception

Sur la période 1901-1930, le nombre moyen de jours d'orage était de 19,6 par an dans la région de Tihange (données relevées à Huy-Statte). La foudre frappe les alentours du site de Tihange 1,76 fois par km² et par an. Cette valeur est supérieure à la moyenne en Belgique (1,19 coup de foudre par km² et par an).

A proximité du site de Doel, les observations météorologiques sur la période 1901-1930 font état de 8 jours d'orage par an en moyenne (données relevées à la station d'Anvers-Doel).

4.4.2. Evaluation des marges de sûreté contre la foudre

Tous les bâtiments des deux sites sont protégés contre la foudre, conformément à la norme NBN C18-100 (édition 1985) et son addendum.

4.4.3. Mesures pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse contre la foudre

Depuis 2009, la nouvelle norme NBN EN (CEI) 62305 s'applique pour tous les nouveaux bâtiments.

A cette occasion, une évaluation du risque de foudre a été réalisée pour la centrale de Tihange en suivant la méthodologie décrite dans 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 en 2010, qui ont débouché sur un projet de mise à la terre en cours (étalé sur les années 2011-2012-2013).

Des essais périodiques des dispositifs de mise à la terre sont également planifiés dans un programme annuel.

Une évaluation similaire est en cours à la centrale de Doel afin d'améliorer la protection contre la foudre selon la nouvelle norme.

4.5. Chutes de neige

En moyenne, on compte 15 jours de chutes de neige par an en basse et moyenne Belgique, 30 jours en haute Belgique et jusqu'à 40 jours sur les hauts plateaux.

Les périodes durant lesquelles le sol est recouvert de neige peuvent varier sensiblement en fonction des conditions hivernales. La plupart du temps, ces périodes ne dépassent pas 3 à 5 jours. La durée d'enneigement est légèrement supérieure dans les Ardennes, surtout sur les hauts plateaux.

Le 10 février 1902, une couche de neige record de 0,35 mètres a été mesurée à Uccle (centre de la Belgique). Dans la région des Hautes-Fagnes, l'épaisseur de neige a culminé à 1,15 mètre le 9 février 1953 (valeur la plus importante jamais enregistrée en Belgique par l'Institut Royal Météorologique depuis le début du XX^{ème} siècle).

Les chutes de neige sont relativement rares en basse et moyenne Belgique, correspondant aux sites de Doel et Tihange.

Le rapport de sûreté indique une moyenne annuelle de 12 jours de chute de neige près de Doel.

4.5.1. Réévaluation des chutes de neige prises en compte à la conception

Une moyenne annuelle de 30 jours de chute de neige a été prise en compte lors de la conception du site de Tihange.

Les unités Tihange 1 et Doel 1/2 ont été conçues conformément aux dispositions de la règle NBN 15-1963, tandis que les unités Tihange 2 et Tihange 3 et Doel 3 et Doel 4 ont été conçues selon la NBN B 15-103 (1977) intitulée « Béton, béton armé et béton précontraint – Calcul ».

Ces deux normes préconisent pour les régions de Doel et de Tihange (altitude de 0 à 100 m) une valeur de surcharge due à la neige n'excédant pas 0,35 kN/m² et 0,40 kN/m² respectivement. 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 tout point de la toiture (en choisissant la plus défavorable des deux valeurs).

Les règles actuelles pour les nouveaux bâtiments (NBN EN 1991-1-3-ANB : 2007) sont d'application depuis 1995 et ont été transposées des normes européennes de construction (Eurocode 1) dans la réglementation belge.

Pour les régions de Tihange et de Doel (altitude de 0 à 100 m), cette réglementation préconise de considérer une surcharge de neige de 0,50 kN/m². Ces normes indiquent clairement que les effets de la neige et du vent ne doivent pas être cumulés. Il convient de noter que le vent peut créer une dépression sur les toitures qui est prise en compte dans le dimensionnement des bâtiments (charpente/bardage) et peut envelopper les effets dus à la neige.

Un code de bonne pratique publié en 1995 préconise de dimensionner les toitures – lorsque c'est jugé nécessaire – pour qu'ils puissent supporter une charge de 1,20 kN/m².

4.5.2. Evaluation des marges de sûreté contre les chutes de neige

La neige n'est qu'une partie des charges de toiture considérées dans les calculs de structure. Par ailleurs, les bonnes pratiques préconisent des valeurs minimales qui peuvent être relevées en fonction de la nature du projet. C'est pourquoi la surcharge due à la neige n'est pas forcément un critère de dimensionnement. C'est le cas, par exemple, pour les bâtiments bunkerisés qui ont été conçus pour résister à des charges bien plus importantes.

Aussi, même en cas de chute de neige exceptionnelle, aucun problème n'est attendu pour les bâtiments suivants :

- site de Tihange :
 - le bâtiment réacteur des trois unités ;
 - le bâtiment du BUS (W), les piscines du BAN (D et DE), et les puits de nappe et prises d'air des unités Tihange 2 et Tihange 3 ;
- site de Doel :
 - le bâtiment réacteur des quatre unités ;
 - les bâtiments BAR, GNS et DGG sur les unités Doel 1/2 ;
 - les bâtiments BKR, GNH, SPG, GVD et OVG2 sur les unités Doel 3 et Doel 4.

Ceci s'applique également au bâtiment SCG à Doel (entreposage à sec du combustible usé). Les conteneurs à l'intérieur du bâtiment SCG peuvent résister à l'impact d'un projectile, à l'impact de l'effondrement du bâtiment ou à l'impact des débris du bâtiment. En conséquence, les chutes de neige ne représentent aucune menace pour les fonctions de sûreté des conteneurs.

Pour les bâtiments « non bunkerisés », les marges de conception peuvent être réduites par l'ajout au cours du temps de charges supplémentaires sur les toits. Etant donné l'application ponctuelle de codes de bonnes pratiques, et la prise en compte de charges plus importantes que l'enneigement, des bâtiments du site peuvent résister à une épaisseur de neige bien plus importante que la valeur minimale recommandée par ces normes.

En considérant une masse volumique de neige de 100 kg/m^3 (soit 1 kN/m^2) et une surcharge admissible de $0,35$ à $0,4 \text{ kN/m}^2$, les toitures des bâtiments « non bunkerisés » peuvent supporter une couche de neige d'au moins 30 cm .

En ce qui concerne la tenue des lignes électriques hors site, une chute de neige importante pourrait surcharger (mécaniquement) les lignes à très haute tension, voire même provoquer leur mise en oscillation sous l'effet combiné du vent. Cela pourrait induire la perte partielle de l'alimentation électrique extérieure, mais cette situation est couverte par la base de conception.

4.5.3. Mesures pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse contre les chutes de neige

Tous les bâtiments des deux sites ont été dimensionnés pour supporter les charges de neige déterminées selon les normes applicables. Par ailleurs, lorsque l'on considère les marges de conception, certains bâtiments peuvent en fait résister à des charges bien plus importantes que celles dues à la neige.

Pour les bâtiments « non bunkerisés », la surcharge admissible due à la neige devrait être limitée à $0,35 \text{ kN/m}^2$, soit une couche de neige de 35 cm (sans tenir compte de la surcharge due à la présence du personnel).

A cette fin, des procédures de surveillance et d'intervention seront mises en place sur les deux sites pour dégager la neige des toitures des bâtiments « non bunkerisés » dès que la couche de neige atteint 30 cm d'épaisseur.

4.6. Grêle

La grêle est un phénomène météorologique localisé dans le temps et l'espace. Il n'a pas été retenu dans la base de conception dans la mesure où 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. Le risque lié aux projectiles pour les centrales nucléaires est inclus dans la base de conception.

Aucune mesure spécifique n'est requise pour augmenter la robustesse des installations contre la grêle sur les deux sites.

4.7. Autres conditions climatiques extrêmes

Les conditions climatiques suivantes ne peuvent survenir en Belgique pour des raisons géographiques, ou leur cinétique est tellement lente que des mesures appropriées peuvent être prises avant d'atteindre les phases critiques.

Températures extrêmes

Lors de la conception des centrales nucléaires, les températures extrêmes sont prises en compte pour le dimensionnement des équipements. Les valeurs sont déterminées sur la base de statistiques et en fonction de la localisation géographique des installations.

Un changement des températures extrêmes est réévalué lors des révisions périodiques de sûreté. Si ces températures sont modifiées, le dimensionnement et l'utilisation sûre des systèmes et équipements concernés sont réévalués. Des actions correctives sont mises en œuvre si nécessaire.

Etant donné que les périodes de sécheresse ou de températures extrêmes n'apparaissent pas soudainement, elles peuvent être anticipées. Les centrales nucléaires disposent de procédures spécifiques pour garantir une exploitation sûre en cas de vague de chaleur ou de froid.

Cyclone tropical, typhon, ouragan

Etant donné la situation géographique de Tihange et de Doel, ces phénomènes climatiques n'ont pas été retenus dans la liste des conditions climatiques extrêmes.

Tempête de sable ou de poussière

Etant donné la situation géographique de Tihange et de Doel, ces phénomènes climatiques n'ont pas été retenus dans la liste des conditions climatiques extrêmes.

Trombe marine

Etant donné la situation géographique de Tihange et de Doel, ces phénomènes climatiques n'ont pas été retenus dans la liste des conditions climatiques extrêmes.

4.8. Synthèse des principaux résultats présentés par l'exploitant

Sur la base des informations présentées dans les rapports de l'exploitant et des renseignements complémentaires fournis par l'exploitant lors des réunions techniques et des inspections sur site, les principaux résultats concernant les conditions météorologiques extrêmes sont les suivants.

Les conditions météorologiques extrêmes suivantes ont été réévaluées par l'exploitant : les fortes pluies, les vents violents, les tornades, la foudre, les chutes de neige et la grêle. Les autres conditions météorologiques extrêmes ne s'appliquent pas aux centrales nucléaires belges (exemples : les ouragans, les trombes marines, les tempêtes de sable...).

Pour les fortes pluies sur le site de Doel, des mesures détaillées, des inspections et des réparations ont été effectuées entre 2007 et 2009 sur le système d'égouts (cinq réseaux indépendants). Par la suite, un modèle hydrodynamique du système d'égouts a été développé pour vérifier sa capacité d'évacuation pour diverses intensités et durées de pluies correspondant à des périodes de retour allant jusqu'à 100 ans (dérivées des observations d'intensités de pluies sur la période 1967-1993). La capacité du système d'égouts s'est avérée suffisante, mis à part à certains points de deux réseaux (H4 et H5) où l'inondation des abords des bâtiments de Doel 3 et Doel 4 ne peut être exclue. Dès lors, des améliorations potentielles du système d'égouts vont être étudiées et un plan d'action sera établi en cas de besoin.

Pour les fortes pluies sur le site de Tihange, des mesures détaillées, des inspections et des réparations sur le système d'égouts (réseaux séparés par unité) sont en cours et proches d'être achevées. Un modèle hydrodynamique du système d'égouts sera ensuite développé pour vérifier sa capacité d'évacuation pour des intensités de pluies allant jusqu'à 175 l/s/ha (c'est-à-dire supérieures à l'intensité de 150 l/s/ha qui fut prise en compte à la conception). Sur la base de ces résultats, des améliorations potentielles du système d'égouts seront étudiées.

En ce qui concerne les vents violents et les températures extrêmes, les conditions météorologiques prises en compte dans la base de conception sont réévaluées à l'occasion de chaque révision périodique (décennale) de sûreté. S'il en ressort que ces conditions météorologiques sont dépassées, les conditions d'exploitation des SSC susceptibles d'être affectés sont réévaluées et les modifications sont apportées là où c'est nécessaire. Pour les vagues de chaleur ou de froid extrême, des procédures d'exploitation dédiées ont été établies en vue notamment d'éviter l'indisponibilité de SSC importants pour la sûreté ou la dégradation de leurs conditions d'utilisation.

Concernant les tornades, au moins le second niveau de protection (à savoir les systèmes d'ultime secours) est censé résister aux tornades avec des vitesses vent jusqu'à 70 m/s (250 km/h) pour Doel 1/2 et Tihange 1 et jusqu'à 107 m/s (385 km/h) pour Doel 3 et Doel 4, ainsi que pour Tihange 2 et Tihange 3.

Concernant la foudre, une évaluation de la protection de toutes les unités selon la nouvelle norme NBN EN 62305 est en cours. Le plan d'action devrait être mis en œuvre pour la fin de 2013.

En ce qui concerne les chutes de neige, l'épaisseur de la couche de neige sur les toits des bâtiments « non bunkerisés » sera surveillée et la neige sera dégagée dès que la couche atteint 30 cm d'épaisseur. Des procédures d'intervention seront établies sur les deux sites pour mener à bien ces opérations.

Pour la grêle, le risque est couvert par d'autres types d'événements et aucune mesure spécifique n'est requise pour accroître la robustesse des installations.

Les spécifications des tests de résistance ne requièrent pas l'évaluation des marges de sécurité en cas de conditions climatiques extrêmes. Toutefois, elles demandent une évaluation des faiblesses et des modes de défaillance ou des effets falaises susceptibles d'amener une centrale dans des conditions non sûres. Par conséquent, la robustesse des centrales face à des conditions météorologiques extrêmes à l'intérieur des limites de conception a été évaluée. En cas de tornade, certaines faiblesses ont été identifiées, entraînant soit une perte de l'alimentation électrique externe (LOOP), soit un LOOP

combiné à une perte du premier niveau de protection, le second niveau de protection (« systèmes bunkerisés ») restant toutefois préservé.

4.9. Evaluation et conclusions de l'Autorité de sûreté

L'approche suivie par l'exploitant pour la réévaluation des risques liés aux conditions météorologiques extrêmes est conforme à la méthodologie définie par l'exploitant et approuvée par l'Autorité de sûreté.

La plupart des risques considérés avaient été pris en compte dans la base de conception des installations et ne sont dès lors pas susceptibles d'affecter les fonctions de sûreté des unités.

Globalement, les conséquences potentielles des conditions climatiques extrêmes sont couvertes par d'autres événements majeurs (inondation, crash d'un avion...) qui font également partie de la réévaluation dans le cadre du programme des tests de résistance et qui peuvent entraîner une perte de courant électrique ou de la source froide. Dès lors, les actions prévues pour faire face à ces autres risques apporteront un niveau de protection supérieur contre les conditions climatiques extrêmes.

Toutefois, sur la base de l'évaluation des rapports de l'exploitant ainsi que des réunions techniques et inspections sur site qui ont suivi, l'Autorité de sûreté a identifié des demandes et des recommandations complémentaires visant à renforcer plus encore la robustesse des installations face à des conditions climatiques extrêmes :

1. La réévaluation de la capacité du système d'égouts (cinq réseaux séparés à Doel et des réseaux séparés pour chaque unité à Tihange) en utilisant un modèle hydrodynamique détaillé doit couvrir à la fois des pluies importantes de courte durée et des pluies de longue durée (95^{ème} percentile) pour des périodes de retour allant jusqu'à 100 ans. En outre, ces pluies centennales doivent être déterminées sur la base d'observations des intensités de pluies relevées sur une période de temps suffisamment longue, incluant les observations récentes (les pluies exceptionnelles du 23 août 2011, par exemple). En fonction de ces résultats, les améliorations potentielles du système d'égouts devront être envisagées et le plan d'action de l'exploitant sera mis à jour en conséquence là où c'est nécessaire.
2. Etant donné que des tornades de hautes intensités ont été observées dans les pays limitrophes au cours de ces dernières années (classe EF4 sur l'échelle Fujita améliorée), la robustesse des systèmes de protection de second niveau à Doel 1/2 et Tihange 1 devrait être confirmée dans l'hypothèse d'une tornade hors conception avec une vitesse de vents dépassant 70 m/s (250 km/h).

5. Perte des alimentations électriques et perte de la source froide

Afin de produire un rapport national autoportant en vue du processus d'examen par les pairs à venir, les informations pertinentes présentées par l'exploitant dans ses rapports de tests de résistance sont d'abord rappelées.

A la fin de ce chapitre figure une section dans laquelle sont présentées l'évaluation et les conclusions de l'Autorité de sûreté belge (AFCN et Bel V).

Les scénarios considérés dans les paragraphes suivants décrivent les effets de 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 des 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 quelle que soit la nature des incidents ou des cumuls d'incidents envisagés. Néanmoins, cette situation a été envisagée lors de l'analyse des différents scénarios.

Les événements ci-après sont considérés successivement :

- perte des alimentations électriques externes (LOOP) ;
- perte des alimentations électriques externes et de l'alimentation interne de premier niveau (station black-out) ;
- perte des alimentations électriques externes et des alimentations internes de premier niveau et de second niveau (station black-out total) ;
- perte de la source froide principale ;
- perte des sources froides principale et alternatives ;
- perte de la source froide principale, des alimentations électriques externes et de l'alimentation interne de premier niveau ;
- perte de la source froide principale, des alimentations électriques externes et des alimentations internes de premier niveau et de second niveau ;
- perte de la source froide principale et des alimentations électriques externes, combinée à un séisme DBE.

5.1. Perte de courant électrique

L'alimentation électrique sur les sites assure dans un même temps la fourniture vers le réseau de l'électricité produite par les réacteurs nucléaires ainsi que l'alimentation des systèmes auxiliaires, en situation normale ou en cas d'incident ou d'accident. Afin de répondre aux exigences de sûreté, les installations de la centrale nucléaire peuvent être alimentées par plusieurs sources différentes et indépendantes, chacune ayant la capacité d'amener et de maintenir les unités dans un état d'arrêt stable et contrôlé.

Centrale nucléaire de Tihange

Entre chaque unité de Tihange et le poste haute tension de Gramme, l'alimentation externe principale – ainsi que l'évacuation de l'énergie produite – est assurée 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 électrique externe pour les 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 Tihange à Gramme et aux Awirs est munie de ses propres systèmes de contrôle et de protection indépendants. Les liaisons entre le poste haute tension 150 kV (installé sur le 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) le 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 sur la première, elles sont toutes deux physiquement séparées par des distances suffisantes et des murs coupe-feu.

Lorsque l'unité est en fonctionnement normal (pleine puissance), l'alternateur fournit l'énergie électrique aux auxiliaires de la centrale.

Dans certains cas de défaillances de l'alimentation électrique principale, le réacteur (s'il est en puissance) passe automatiquement en îlotage. L'unité se déconnecte alors du réseau extérieur et l'alternateur ne fournit alors que la puissance à ses auxiliaires.

En cas d'échec de l'îlotage, un transfert automatique de l'alimentation électrique principale vers les transformateurs de réserve (150 kV) est prévu et l'alimentation électrique des auxiliaires est ininterrompue.

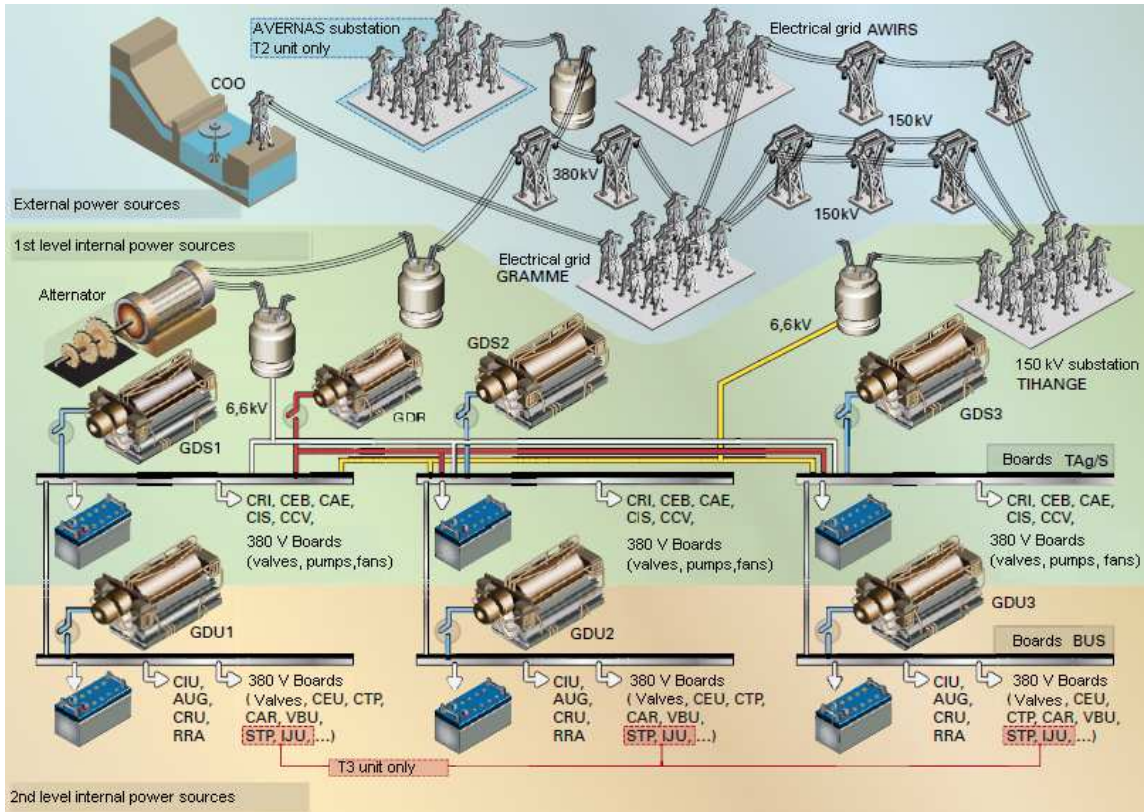


Figure 13 : Plan des alimentations électriques à Tihange 2 et Tihange 3

Chaque unité dispose également de générateurs électrogènes diesel de réserve organisés en deux niveaux de protection (générateurs diesel de secours de premier niveau et générateurs diesel d'ultime secours de second niveau). Chacun de ces niveaux de protection peut à lui seul maintenir le réacteur dans un état stable et contrôlé. De plus, un générateur diesel de réserve commun aux trois unités peut également être utilisé en lieu et place de n'importe quel générateur de premier niveau sur chaque unité.

Les systèmes de secours de premier niveau sont alimentés par le réseau externe mais, en cas de LOOP, les générateurs de secours de premier niveau assurent la réalimentation électrique de ces systèmes de premier niveau (2 générateurs diesel pour Tihange 1, 3 pour Tihange 2, 3 pour Tihange 3).

Les systèmes d'ultime secours de second niveau sont alimentés par le réseau externe mais, en cas de LOOP et de perte des générateurs diesel de secours de premier niveau, les générateurs diesel d'ultime secours de second niveau assurent la réalimentation électrique de ces systèmes de second niveau (1 générateur diesel et 1 turbo-alternateur pour Tihange 1, 3 générateurs diesel pour Tihange 2, 3 générateurs diesel pour Tihange 3).

Centrale nucléaire de Doel

L'alimentation externe principale du site de Doel est assurée par 5 lignes haute tension 380 kV (3 de la station Mercator, 1 de la station Avelgem et 1 de la station Zandvliet) qui sont raccordées à la station 380 kV à Doel avec laquelle les 4 unités sont connectées par différents jeux de barres.

L'alimentation externe alternative des quatre unités est formée par un poste haute tension 150 kV à double jeu de barres installé sur le site de Doel et lui-même alimenté par 2 lignes haute tension, l'une de la station Kallo et l'autre de la station Zandvliet.

Les circuits auxiliaires de Doel 1/2 sont alimentés, avec les unités en conditions d'arrêt, seulement par le réseau 150 kV. Les circuits auxiliaires de Doel 3 et Doel 4 peuvent également être alimentés depuis le réseau 380 kV.

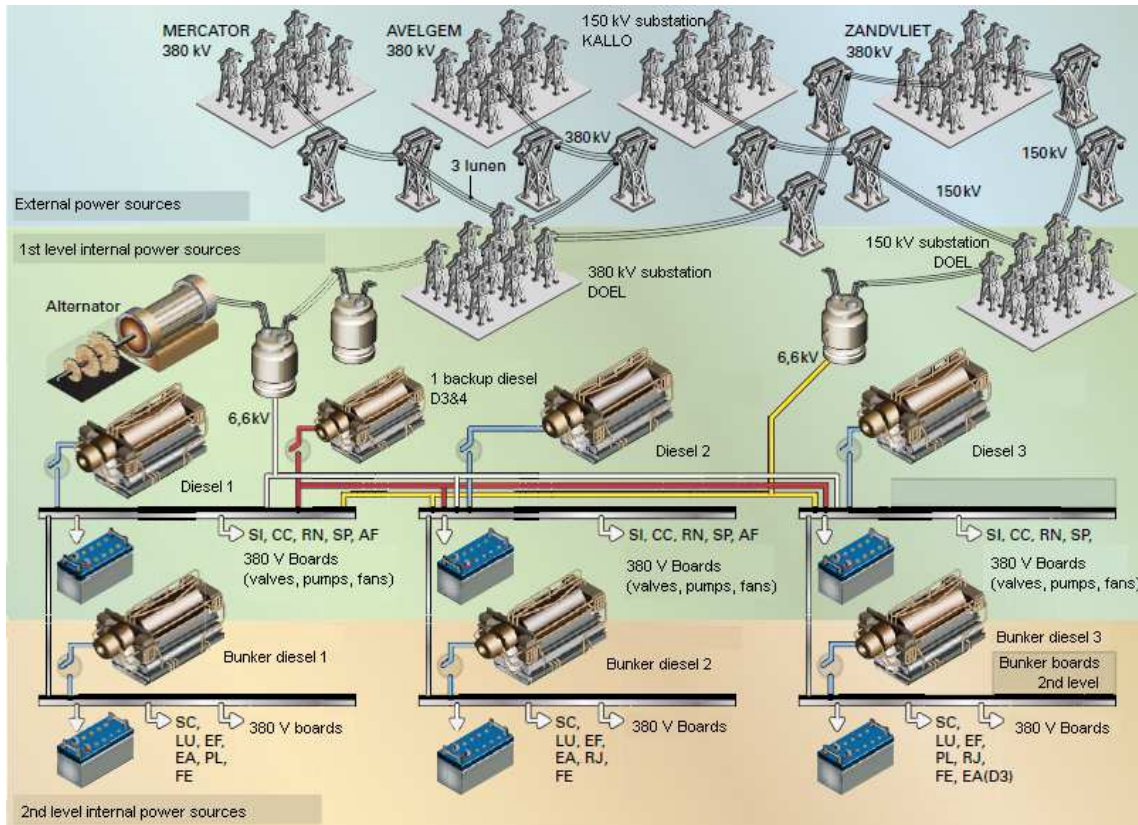


Figure 14 : Plan des alimentations électriques à Doel 3 et Doel 4

Lorsque l'unité est en fonctionnement normal (pleine puissance), l'alternateur fournit l'énergie électrique aux auxiliaires de la centrale.

Dans certains cas de défaillances de l'alimentation électrique principale, le réacteur (s'il est en puissance) passe automatiquement en îlotage. L'unité se déconnecte alors du réseau extérieur et l'alternateur ne fournit alors que la puissance à ses auxiliaires.

Chaque unité dispose également de générateurs électrogènes diesel de réserve organisés en deux niveaux de protection (générateurs diesel de secours de premier niveau et générateurs diesel d'ultime secours de second niveau). En cas d'échec de l'îlotage, un arrêt d'urgence stoppe le réacteur et les diesels des premier et second niveaux démarrent.

Les systèmes de secours de premier niveau sont alimentés par le réseau externe mais, en cas de LOOP, les générateurs diesel de premier niveau assurent la réalimentation de ces systèmes de premier niveau (4 pour Doel 1/2, 3 pour Doel 3, 3 pour Doel 4).

Les systèmes d'ultime secours de second niveau sont alimentés par le réseau externe mais, en cas de LOOP, les générateurs diesel de second niveau assurent la réalimentation électrique de ces systèmes de second niveau (2 pour Doel 1/2, 3 pour Doel 3, 3 pour Doel 4).

Réseau haute tension

En tant que gestionnaire du réseau belge haute tension, ELIA est responsable de l'exploitation et de la gestion du réseau haute tension externe.

Le « contrat d'accès » conclu entre l'exploitant et ELIA stipule, dans le cas d'un réseau intact, qu'une puissance suffisante doit être disponible sur les lignes 380 kV et 150 kV des centrales nucléaires de Tihange et Doel afin d'assurer l'alimentation électrique des auxiliaires vitaux des différentes unités.

Le « contrat de raccordement » conclu par site entre l'exploitant et ELIA décrit, à titre d'information, les accords spécifiques qui doivent être respectés par ELIA pour l'exploitation et l'entretien du réseau haute tension. Il mentionne également la disponibilité permanente des deux alimentations électriques indépendantes pour l'alimentation des auxiliaires vitaux des centrales de Tihange et Doel – comme exigé par les spécifications techniques.

Par ailleurs, le « contrat de raccordement » mentionne les codes de sauvegarde et de reconstruction du réseau haute tension belge. Le code de sauvegarde prévoit les actions nécessaires gérées par ELIA afin d'éviter une détérioration plus importante du réseau en cas de problème sur celui-ci. Le code de reconstruction prévoit les actions nécessaires gérées par ELIA, afin de reconstruire le réseau en cas de black-out.

5.1.1. Perte des alimentations externes (LOOP)

Le scénario de perte totale des alimentations extérieures prend en considération la perte totale du réseau électrique 380 kV, l'échec de l'îlotage et la perte du réseau électrique 150 kV.

Le LOOP est couvert par la conception des unités. Les différentes actions automatiques assurent la protection du réacteur et l'évacuation de la chaleur résiduelle : arrêt du réacteur, démarrage de l'eau alimentaire auxiliaire et du refroidissement.

En cas d'échec de l'îlotage de l'unité, et jusqu'à ce qu'une alimentation externe soit 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.

En résumé, rétablir le courant en utilisant les sources électriques internes permettra le maintien des principales fonctions suivantes :

- eau alimentaire pour les générateurs de vapeur par les deux motopompes et une turbopompe (pas d'alimentation électrique nécessaire) ;
- injection d'eau borée dans le circuit primaire pour compenser la contraction de l'eau pendant la phase de refroidissement, et contrôle de la réactivité du cœur afin de le maintenir dans un état sous-critique ;
- maintien du refroidissement des joints de la pompe primaire ;
- maintien du refroidissement du cœur par le système de refroidissement à l'arrêt.

Les pompes de refroidissement des piscines de désactivation assurent le refroidissement des piscines de désactivation via des échangeurs de chaleur.

Description physique du scénario

Après l'arrêt d'urgence, les pompes du circuit primaire, trop puissantes pour être secourues par des générateurs diesel, s'arrêtent. Le débit d'eau circulant dans le cœur va diminuer rapidement et, après l'arrêt complet des pompes du circuit primaire, s'établira une circulation naturelle dans le circuit due à la convection. Cette circulation naturelle assure l'évacuation de la chaleur résiduelle du cœur. Il convient de noter que cette chaleur résiduelle diminuera progressivement avec le temps après l'arrêt du réacteur.

L'arrêt du réacteur déclenche l'arrêt de la turbine, et la fermeture de ses vannes d'admission. L'eau alimentaire normale étant perdue, un signal de démarrage automatique est envoyé au système d'eau alimentaire auxiliaire pour assurer l'alimentation en eau des générateurs de vapeur. Ce circuit, constitué de deux motopompes secourues par les générateurs diesel de secours de premier niveau et par une turbopompe mue directement par la vapeur produite en sortie de générateur de vapeur, assure un débit d'eau suffisant vers les générateurs de vapeur pour évacuer la chaleur résiduelle du réacteur. La vapeur est libérée par les vannes de décharge à l'atmosphère.

Si la perte de courant électrique externe survient quand l'unité n'est pas en état d'évacuer la chaleur résiduelle par les générateurs de vapeur, le système de refroidissement à l'arrêt (Tihange : RRA,

Doel : SC) reprend le refroidissement. Le système de refroidissement à l'arrêt est alimenté par les générateurs diesel de secours de premier niveau.

5.1.1.1. Dispositions de conception

Tihange 1

Il existe **deux générateurs diesel de secours de premier niveau (GDS)**, d'une puissance de 3 552 kW chacun (puissance en régime continu), refroidis par l'eau de la Meuse ou de la nappe phréatique via le circuit d'eau brute (CEB). Un GDS seul suffit à alimenter les systèmes auxiliaires nécessaires. Cette redondance est un élément supplémentaire de sûreté. Ces générateurs sont dimensionnés pour la mise à l'arrêt stable et contrôlé de l'unité dans le scénario le plus défavorable.

L'unité a également une **alimentation électrique d'ultime secours de second niveau (turbo-alternateur GUS et générateur diesel DUR)** qui n'est pas strictement nécessaire en cas de perte de l'alimentation électrique externe. Néanmoins, ces sources électriques augmentent encore l'autonomie du site (bien qu'il serait suffisant de n'utiliser que les générateurs diesel de secours de premier niveau). Il en est de même pour le générateur diesel de réserve (GDR).

Tihange 2 et Tihange 3

Il existe **trois générateurs diesel de secours de premier niveau (GDS)** d'une puissance unitaire de 5 040 kW (puissance en régime continu), refroidis par l'eau de la Meuse via le circuit d'eau brute (CEB). Deux des GDS sont nécessaires pour amener et maintenir l'unité en état stable et contrôlé. Chaque générateur diesel de secours est physiquement indépendant et électriquement séparé des deux autres de telle manière qu'une défaillance ou un incident sur un générateur n'aurait pas de conséquence pour les deux autres.

Les unités ont également une **alimentation électrique d'ultime secours de second niveau (3 générateurs diesel GDU)** qui n'est pas strictement nécessaire en cas de perte de l'alimentation électrique externe. Néanmoins, ces sources électriques augmentent encore l'autonomie du site (bien qu'il serait suffisant de n'utiliser que les générateurs diesel de secours de premier niveau). Il en est de même pour le générateur diesel de réserve (GDR).

Doel 1/2

Il y a **quatre générateurs diesel de secours de premier niveau**

- *Situation actuelle* : quatre diesels de premier niveau, chacun d'une capacité de 2 100 kW, partagés par les deux unités. Ces générateurs diesel sont refroidis par des aéro-réfrigérants et sont dimensionnés pour permettre aux unités de s'arrêter de manière sûre.
- *Situation future* : les quatre générateurs diesel de premier niveau actuels seront remplacés en 2012 par quatre nouveaux générateurs diesel de premier niveau, chacun d'une capacité de 2 500 kW. Les nouveaux générateurs diesel seront refroidis par des aéro-réfrigérants et, de plus, résisteront au séisme (DBE). De plus, un cinquième générateur diesel de premier niveau identique est prévu. Il pourra remplacer l'un des quatre autres générateurs diesel en cas d'indisponibilité.

Il y a également deux générateurs diesel d'ultime secours de second niveau, chaque d'une capacité de 2 300 kW, partagés par les deux unités et refroidis par des aéro-réfrigérants. Ces générateurs diesel font partie du bâtiment d'ultime secours (GNS) et sont dimensionnés pour assurer l'alimentation de tous les auxiliaires requis pour la mise à l'arrêt stable et contrôlé et le maintien dans cet état en cas de perte de toutes les sources électriques externes et des générateurs diesel de premier niveau. Ces générateurs diesel d'ultime secours de second niveau et les systèmes qu'ils alimentent sont indépendants des générateurs diesel de premier niveau. Ces générateurs diesel d'ultime secours et les systèmes qu'ils alimentent sont protégés contre les accidents externes.

Deux générateurs diesel auxiliaires supplémentaires, chacun d'une capacité de 1 675 kW, sont chargés d'alimenter les systèmes destinés à garantir la sécurité des personnes et des équipements sans rapport avec la sûreté nucléaire.

Doel 3 et Doel 4

Chaque unité a **trois générateurs diesel de premier niveau**, chacun d'une capacité de 5 040 kW. Ils sont refroidis par des aéro-réfrigérants. Ces générateurs sont dimensionnés pour assurer l'arrêt stable et contrôlé de l'unité.

Un générateur diesel de premier niveau de réserve (diesel phi), d'une capacité de 5 040 kW, est partagé par les unités Doel 3 et Doel 4. Il est situé sur le site de Doel 3 et est refroidi par un système de refroidissement par air. Cet ensemble peut être raccordé en moins d'une heure de façon à remplacer l'un des générateurs diesel de premier niveau de Doel 3 ou Doel 4.

Chaque unité a **trois générateurs diesel de second niveau**, chacun d'une capacité de 2 240 kW. Ils sont situés dans le bunker de l'unité et sont refroidis par l'eau venant du bassin de refroidissement qui appartient à l'unité. Ces générateurs diesel sont dimensionnés pour assurer l'alimentation de tous les auxiliaires du bunker nécessaires à la mise à l'arrêt stable et contrôlé de l'unité et au maintien dans cet état en cas de perte de toutes les sources électriques externes et des générateurs diesel de premier niveau. Ces générateurs diesel d'ultime secours et les systèmes qu'ils alimentent sont protégés contre les accidents externes.

Chaque unité dispose de deux générateurs diesel auxiliaires supplémentaires, chacun d'une capacité de 800 kW.

5.1.1.2. Autonomie

Tihange 1

L'unité a un réservoir de gazole d'une capacité utile de 80 m³ par générateur diesel de premier niveau, donnant à chaque générateur une autonomie de 3,5 jours sans aucun appoint des réservoirs et tout en fonctionnant à pleine charge.

Si l'on utilise uniquement les systèmes nécessaires pour le refroidissement de l'unité en cas de LOOP sans autre incident, l'autonomie passe à 4,5 jours, en considérant le refroidissement de l'unité et le passage de l'arrêt à chaud à l'arrêt à froid. L'utilisation du gazole supplémentaire contenu dans un réservoir de gazole de réserve (CVA B01Hc) porte l'autonomie à quelque 20 jours.

Après réduction de la charge aux seuls équipements requis pour maintenir l'unité en arrêt à froid, l'huile de lubrification disponible pour les GDS et le stock de sécurité présent sur le site (environ 6 000 l pour les trois unités), confèrent une autonomie de plus de deux semaines.

Tihange 2 et Tihange 3

La capacité totale d'entreposage de gazole pour les groupes diesel de secours de premier niveau est de :

- trois cuves d'une capacité utile de 170 m³ par réservoir à Tihange 2 ;
- trois cuves d'une capacité utile de 170 m³ par réservoir à Tihange 3 ;
- une cuve d'une capacité utile de 170 m³ pour le générateur diesel de réserve commun (GDR).

Il existe également une liaison manuelle d'urgence avec les conduites de transfert du gazole des générateurs diesel d'ultime secours, qui ont un réservoir principal d'entreposage de 185 m³.

Une autonomie de 7 jours est donc disponible sans aucun appoint aux réservoirs de gazole et pour un fonctionnement à pleine charge des deux générateurs diesel de secours par unité, dans le cas le plus défavorable en terme de charge.

En utilisant uniquement les systèmes nécessaires pour refroidir l'unité en cas de LOOP sans autre incident, l'autonomie passe à 15 jours environ si l'on inclut le refroidissement de l'unité de l'arrêt à chaud vers l'arrêt à froid. De plus, en utilisant le gazole restant dans un réservoir de gazole de réserve (CVA B08), cette autonomie est portée à quelque 25 jours.

Concernant l'huile de lubrification, chaque générateur diesel est équipé de son propre système de remplissage et de vidange, ainsi que d'un réservoir d'entreposage contenant jusqu'à 2 000 litres. L'autonomie à pleine puissance est de 7 jours. Ceci suppose l'intervention d'un opérateur pour ajuster le niveau d'huile dans le moteur diesel toutes les 28 heures pendant le fonctionnement à régime nominal.

Doel 1/2

Les générateurs diesel de premier niveau ont une autonomie d'au moins 15 jours.

Les réservoirs des générateurs diesel de premier niveau ont, en conformité avec les spécifications techniques, un stock permettant 15 jours d'autonomie.

Si tout le gazole disponible à Doel 1/2 dans les générateurs diesel de second niveau et les générateurs diesel auxiliaires et dans le WAB était utilisé, l'autonomie serait portée à 34 jours.

La quantité d'huile de lubrification disponible dans le carter à huile et les cuves de réserve est largement suffisante.

Doel 3 et Doel 4

Les générateurs diesel de premier niveau ont une autonomie d'au moins 15 jours.

L'alimentation en gazole en conformité avec les spécifications techniques permet 23 jours d'autonomie à Doel 3 et 20 jours d'autonomie à Doel 4.

Si les réservoirs de gazole des générateurs diesel de premier niveau et des générateurs de second niveau sont complètement remplis, on obtient une autonomie de 35 jours pour Doel 3 et de 28 jours pour Doel 4.

La quantité d'huile lubrifiante disponible dans le carter à huile et les cuves de réserve est largement suffisante.

5.1.1.3. Mesures permettant une utilisation prolongée des alimentations électriques internes

Pour étendre l'autonomie des alimentations électriques, on utilise essentiellement les réserves de gazole et d'huile lubrifiante disponibles : (1) dans les réservoirs communs, (2) dans ceux des générateurs diesel non disponibles ou non nécessaires pour le maintien d'un arrêt stable prolongé, et (3) dans le magasin du site (transfert par des moyens internes ou externes). Dans cette situation, avec l'unité dans un état d'arrêt stable et contrôlé, les besoins énergétiques sont ceux requis pour maintenir l'unité dans l'état stable plutôt que ceux requis pour amener l'unité dans un état stable comme pendant les premières heures suivant l'événement initial. En particulier, les générateurs diesel fonctionnent à charge réduite, ce qui diminue fortement leur consommation.

Il faut noter pour Tihange qu'une procédure commune aux trois unités s'applique en cas de problème prolongé avec le réseau électrique extérieur, d'alimentation électrique instable ou de black-out. 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.

Pour Doel, un camion-citerne est présent sur le site et permet de transférer du gazole depuis les réservoirs de gazole inutilisés des générateurs diesel de premier niveau, le générateur diesel de réserve (phi), les générateurs diesel de second niveau, le WAB et entre les 4 unités. À Doel 1/2 comme à Doel 3 et Doel 4, le transfert de gazole n'est nécessaire qu'après 1 à 2 semaines. C'est amplement suffisant pour obtenir le personnel requis sur site.

5.1.1.4. Mesures pouvant être envisagées pour augmenter la robustesse des installations

Quelques procédures et optimisations organisationnelles mineures assurent une sécurité encore plus grande. En cas de perte prolongée du courant électrique extérieur et d'impossibilité de nouveaux approvisionnements en gazole et en huile, il sera nécessaire de minimiser la consommation des générateurs diesel de secours. À cette fin, une procédure définissant les charges non essentielles doit être fournie pour les unités des deux sites.

À Tihange 1, l'appoint d'huile de lubrification est réalisé au carter des générateurs diesel à partir des fûts d'huile. L'unité dispose aussi d'un réservoir d'appoint en huile pour les générateurs diesel de secours (GDS) (environ 2 000 l). Une analyse sera menée afin d'envisager une réserve minimale dans ce réservoir. De plus, des procédures doivent également être amendées afin d'anticiper l'appoint d'huile pour les différents générateurs diesel (applicables pour le site).

5.1.2. Perte des alimentations électriques externes (LOOP) et perte des alimentations internes de secours de premier niveau (station black-out)

Ce paragraphe examine la perte de courant électrique externe et de courant électrique interne de premier niveau.

Ce scénario, dit station black-out, suppose que se produise successivement ou simultanément :

- la perte de courant extérieur (lignes 380 kV et 150 kV, voir début du Chapitre 5) ;
- l'échec de l'îlotage ;
- la perte des générateurs diesel de secours de premier niveau.

Note : les générateurs diesel de réserve sont aussi considérés comme indisponibles pour des raisons de cohérence du scénario.

Dans ces circonstances, les unités ont un second niveau de protection permettant de maintenir le réacteur dans un état stable et contrôlé et assurant le refroidissement des piscines de combustible usé.

5.1.2.1. Dispositions de conception et autonomie

En cas de LOOP et de perte des générateurs diesel de secours de premier niveau, les équipements de sûreté nécessaires doivent encore être alimentés. Cela peut être fait par :

- les réacteurs du site qui ne sont pas arrêtés ;
- les générateurs diesel d'ultime secours de second niveau ;
- les pompes entraînées par la vapeur ;
- les batteries.

Les autonomies annoncées concernent la situation dans laquelle chaque unité doit utiliser ses propres réserves, ce qui représente l'hypothèse la plus pénalisante. En cas d'incident n'affectant pas toutes les unités sur le site d'une centrale nucléaire, les réserves totales du site seront utilisées via des moyens externes pour la ou les unités affectée(s), ce qui augmentera l'autonomie.

Tihange 1

Le système d'ultime repli (SUR) poursuit plusieurs objectifs, y compris amener et maintenir l'unité en arrêt stable et contrôlé en cas de perte totale des alimentations électriques externes et internes.

Le SUR inclut deux sources de courant électrique qui démarrent automatiquement en moins d'une minute après la perte de courant :

- le turboalternateur d'ultime secours (GUS), d'une puissance de 80 kW, disponible si au moins un des générateurs de vapeur est opérationnel et qui fonctionne si la température de l'eau dans le circuit primaire dépasse 180 °C ;
- le générateur diesel d'ultime repli (DUR), d'une puissance de 288 kW (puissance en régime continu), refroidi par un échangeur eau/air.

Ces deux systèmes d'ultime secours sont situés dans le bâtiment d'ultime repli (BUR) et alimentent les équipements fonctionnant en 380 V.

La capacité du réservoir de gazole du DUR (réservoir de 500 l dans le BUR) confère une autonomie de 7 heures et demie. Le transfert manuel de gazole réalisé par gravité depuis le réservoir CVA B01Hc augmente l'autonomie à plus de 200 jours, ce qui excède largement le temps nécessaire pour restaurer les alimentations externes – ou pour installer et démarrer des générateurs diesel conventionnels.

Ce réservoir de gazole et la réserve d'huile (600 l) sur site assurent une autonomie de plusieurs semaines.

Tihange 2 et Tihange 3

Dans la base de conception, ce type d'accident remet en cause le second niveau de protection, géré par le bâtiment d'ultime secours (bâtiment renforcé appelé 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 second niveau de protection comporte plusieurs systèmes, dont les plus importants sont : AUG (alimentation d'ultime secours des générateurs de vapeurs), CRU (refroidissement d'ultime secours), CIU (injection d'ultime secours) et IJU (injection d'ultime secours aux joints des pompes primaires, uniquement à Tihange 3 ; l'intégrité de ces joints de pompe est assurée par le CRU à Tihange 2). L'alimentation électrique de ces équipements est fournie par trois générateurs diesel d'ultime secours, d'une puissance de 2 240 kW chacun (en régime continu), situés dans le BUS de l'unité, refroidis par l'eau de la Meuse ou par l'eau de nappe (CEU). Ces générateurs sont dimensionnés pour fournir l'alimentation de tous les auxiliaires du BUS nécessaires à la mise et au maintien à l'arrêt stable et contrôlé de l'unité en cas de perte de toutes les alimentations externes et des générateurs diesel de secours de premier niveau.

La capacité d'entreposage de gazole telle que fixée par les spécifications techniques permet le fonctionnement à pleine charge des deux générateurs diesel ultimes (GDU) sur les trois unités pendant au moins 7 jours dans le scénario le plus défavorable. En n'utilisant que les équipements nécessaires à la mise et au maintien à l'arrêt à froid de l'unité, l'autonomie est relevée à 50 jours. Pour cela, on utilise le gazole restant dans la bache CVA B08, commune à Tihange 2 et Tihange 3, et le gazole des réservoirs des générateurs diesel de premier niveau (via des moyens externes).

La consommation d'huile est de 3,2 l/h à pleine puissance et la capacité du réservoir est de 1 000 l par générateur diesel GDU. Cela confère une autonomie d'environ 13 jours. Si l'on ne tient compte que des équipements essentiels au passage en arrêt à froid, la capacité du réservoir d'huile et du stock de réserve confère une autonomie d'au moins 4 semaines.

Doel 1/2

Il y a également deux générateurs diesel d'ultime secours de second niveau, chacun d'une capacité de 2 300 kW, partagés par les deux unités. Ces générateurs diesel font partie du bâtiment d'ultime secours (GNS) et sont dimensionnés pour assurer l'alimentation de tous les auxiliaires requis pour la mise et le maintien à l'arrêt stable et contrôlé en cas de perte de toutes les sources électriques externes et des générateurs diesel de premier niveau.

Les générateurs diesel d'ultime secours de second niveau sont refroidis par des échangeurs de chaleur eau/air fermés situés dans le bâtiment d'ultime secours.

Doel 3 et Doel 4

Chaque unité a trois générateurs diesel de second niveau, chacun d'une capacité de 2 240 kW. Ils sont situés dans le bunker de l'unité. Ces générateurs diesel sont conçus pour assurer l'alimentation de tous les auxiliaires du BUS nécessaires à la mise et au maintien à l'arrêt stable et contrôlé de l'unité en cas de perte de toutes les alimentations électriques externes et des générateurs diesel de premier niveau. Les générateurs diesel d'ultime secours de second niveau sont refroidis par le système LU, qui tire son eau de refroidissement des bassins LU. Ils sont indépendants de la source froide principale.

5.1.2.2. Analyse de la perte des alimentations électriques externes (LOOP) et de la perte des alimentations électriques internes de premier niveau sur site

L'analyse ci-dessous suppose qu'une seule unité est affectée. Différents états initiaux de l'unité seront pris en considération :

- générateurs de vapeur disponibles : le circuit primaire est fermé, ce qui permet d'utiliser les générateurs de vapeur pour refroidir le combustible ;
- circuit primaire ouvert : le circuit de refroidissement du réacteur est ouvert (pendant l'arrêt de l'unité) et les générateurs de vapeur ne sont pas disponibles pour refroidir le combustible qui est encore dans la cuve ouverte du réacteur ;
- cœur en piscine de désactivation : l'unité est en arrêt et tout le combustible est évacué du cœur et mis dans les piscines de désactivation.

Générateurs de vapeur disponibles

Ce scénario fait partie de la conception de toutes les unités. Pour les unités récentes, les systèmes de protection de second niveau permettent de mettre le réacteur en arrêt à froid et de l'y maintenir.

La conception des unités les plus anciennes (Tihange 1, Doel 1/2) diffère notablement de celle des unités récentes.

Tihange 1

L'unité est amenée et maintenue en arrêt intermédiaire stable et contrôlé, dit état de repli.

La chaleur résiduelle du cœur est refroidie par les générateurs de vapeur, qui sont alimentés par la turbopompe d'eau alimentaire de secours EAS. L'autonomie du réservoir d'eau alimentaire de secours (EAS) est suffisante pour permettre un alignement manuel avec le système d'eau de nappe.

Passer à un arrêt à froid n'est pas possible. Le GUS et le DUR n'étant pas des sources électriques 6 kV, ils ne peuvent pas alimenter les pompes de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA). Il est donc nécessaire de rester sur les générateurs de vapeur – ce qui suppose une température du circuit primaire d'environ 180 °C pour permettre le fonctionnement de la turbopompe – aussi longtemps que l'alimentation 6 kV n'est pas récupérée 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. Les capacités en gazole et huile disponibles sur l'unité permettent une autonomie de plusieurs semaines, 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.

Doel 1/2

Pour l'évacuation de la chaleur résiduelle, on peut compter :

- en premier lieu sur la turbopompe d'eau alimentaire auxiliaire (AFW) pour alimenter les générateurs de vapeur. La pompe reçoit l'eau du réservoir AFW et du réservoir MW placés plus haut. Ces 180 m³ sont suffisants pour maintenir la centrale en arrêt à chaud pendant 7 heures.
- ensuite sur l'alimentation en eau alimentaire auxiliaire de second niveau des générateurs de vapeur : le système d'eau alimentaire d'ultime secours (EF). Il dispose d'un stock de 400 m³ par unité, ce qui est suffisant pour une autonomie de 20 heures. Le remplissage du réservoir EF est effectué par le système de protection incendie (FE).

Après refroidissement avec l'EF, le système de refroidissement à l'arrêt (SC) peut être mis en service 7 jours après l'arrêt du réacteur pour l'évacuation de la chaleur résiduelle. Les réfrigérants et pompes SC sont refroidis par le système de refroidissement d'ultime secours de second niveau (EC). Celui-ci refroidit l'eau EC par des aéro-réfrigérants. Une alimentation en eau n'est alors plus nécessaire.

Il y a deux générateurs diesel de second niveau disponibles mais un seul générateur diesel est requis pour alimenter les consommateurs des deux unités. Avec une consommation réaliste et si les consommateurs moins essentiels sont arrêtés (chauffage, ventilation à mi-puissance), le stock de gazole est suffisant pour environ 5 jours.

Il n'y a pas d'effet falaise pour ce scénario. Il y a assez d'eau entreposée disponible sur le site pour atteindre des conditions où il est possible de passer à l'EC pour refroidir le SC. Après 5 jours, les générateurs diesel de second niveau doivent être réalimentés en gazole. Il y a largement assez de temps pour obtenir du gazole d'autres lieux sur le site ou à l'extérieur du site.

Tihange 2 et Tihange 3

La chaleur résiduelle du cœur est évacuée par les générateurs de vapeur qui sont alimentés par la turbopompe d'eau alimentaire auxiliaire EAA. On peut en outre utiliser l'alimentation de second niveau des générateurs de vapeur, le système d'eau alimentaire d'ultime secours (AUG).

Les systèmes de protection du second 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 générateurs diesel du second 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 du site.

Doel 3 et Doel 4

Pour l'évacuation de la chaleur résiduelle, on peut compter en premier lieu sur la turbopompe d'eau alimentaire auxiliaire (AF) pour alimenter les générateurs de vapeur. La pompe reçoit de l'eau venant de deux réservoirs AF placés plus haut. Ils contiennent chacun au moins 700 m³ d'eau. C'est suffisant pour refroidir l'unité jusqu'aux conditions d'arrêt puis pour la refroidir pendant encore au moins 16 heures de plus en utilisant les générateurs de vapeur. Pour évacuer la chaleur résiduelle, on peut en outre utiliser l'alimentation en eau alimentaire de second niveau des générateurs de vapeur, le système d'eau alimentaire d'ultime secours (EF). Toutes les pompes et tous les échangeurs de chaleur nécessaires pendant la stabilisation et le refroidissement sont refroidis par le système de refroidissement de second niveau LU. L'autonomie de l'alimentation en eau depuis les bassins LU est d'au moins 26 jours.

Toutes les alimentations électriques viennent des générateurs diesel de second niveau dans le bunker. Deux des trois générateurs diesel suffisent à alimenter les consommateurs de l'unité. Il y a un stock suffisant de gazole pour au moins 10 jours. Cela laisse largement assez de temps pour obtenir du gazole d'autres lieux sur le site ou à l'extérieur du site.

Les systèmes de protection de second niveau permettent de mettre le réacteur en état d'arrêt froid et de l'y maintenir. Il n'y a donc pas d'effet falaise pour ce scénario.

Circuit primaire ouvert

Tihange 1

Dans ce cas, le système de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA) reste connecté mais pas opérationnel dans la mesure où il requiert une alimentation électrique de 6 kV.

S'il est possible de fermer le circuit primaire, la procédure de gestion des accidents prévoit de rétablir l'utilisation des générateurs de vapeur en permettant au circuit primaire de chauffer jusqu'à rétablissement du fonctionnement de la turbopompe EAS. La suite est décrite ci-dessus (générateurs de vapeur disponibles).

S'il n'est pas possible de fermer le circuit primaire, il est encore possible de réaliser une opération de gavage ouvert. Dans ce cas, de l'eau froide venant du réservoir B01Bi est injectée dans le circuit primaire et de la vapeur est extraite par un ventilateur VBP vers la cheminée et les systèmes de filtration du VBP.

Il n'y a pas d'effet falaise pour ce scénario. L'appoint venant du réservoir B01Bi est en effet suffisant pour un fonctionnement d'au moins 72 heures. Cette autonomie couvre le temps d'arrivée d'équipements ou d'eau en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site. Une liaison extérieure permet de venir connecter un camion-citerne contenant de l'eau borée pour réaliser un appoint au réservoir B01Bi.

Les autonomies en gazole et huile indiquées ci-dessus permettent amplement d'attendre l'arrivée des équipements ou consommables venant d'une autre unité ou de l'extérieur du site.

Doel 1/2

L'évacuation de la chaleur résiduelle du système de refroidissement du réacteur ouvert est réalisée par les pompes SC qui sont alimentées par les générateurs diesel de second niveau. Le refroidissement des pompes SC et des réfrigérants est repris par le système EC. Aucune alimentation en eau ne doit être fournie à l'unité avec le système RC ouvert.

Si l'on prend en compte une unité avec circuit primaire ouvert et une unité avec générateurs de vapeur disponibles, la capacité en carburant des générateurs diesel de second niveau est suffisante pour plus de 5 jours. De plus, si le stock des générateurs diesel de premier niveau est utilisé pour alimenter les générateurs diesel de second niveau, alors le stock de carburant est suffisant pour un mois.

L'unité dont le circuit primaire est ouvert est refroidie dès le départ par les deux réfrigérants EC. Il n'est pas nécessaire d'ajouter de l'eau. Sans refroidissement, un réacteur ouvert complètement chargé commencera à bouillir après 20 minutes dans les circonstances les plus pénalisantes (demi-branche, cœur complet, 5 jours après l'arrêt). L'alignement manuel du système EC prend 45 minutes. Dans ce cas, le cœur bouillirait un court moment mais l'inventaire est maintenu par le système RJ et le RWST.

Après un peu plus de 5 jours, les générateurs diesel de second niveau doivent être réalimentés avec du gazole. Il y a largement assez de temps pour obtenir du gazole d'autres lieux sur le site ou à l'extérieur du site.

Tihange 2 et Tihange 3

Les systèmes du second niveau, alimentés par les générateurs diesel d'ultime secours GDU, peuvent maintenir le réacteur à l'arrêt à froid (et refroidir les piscines CTP).

Le seul problème qui peut être rencontré est l'épuisement du gazole et de l'huile pour les générateurs diesel du second niveau, qui interviendra après un délai (une semaine au minimum) compatible avec le délai d'arrivée d'équipements ou de consommables en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site.

Doel 3 et Doel 4

L'évacuation de la chaleur résiduelle du réacteur est réalisée par le système SC et le système LU, tout deux alimentés par les générateurs diesel de second niveau.

La consommation de gazole est inférieure à celle du scénario « générateurs de vapeur disponibles ». Le bunker peut continuer plus de deux mois avec le stock de gazole des réservoirs de premier niveau.

Il n'y a pas d'effet falaise pour ce scénario.

Cœur en piscine de désactivation

Tihange 1

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 de réalimentation de secours des pompes CTP par le SUR va être réalisée.

Les assemblages combustibles dans la piscine restent refroidis par l'eau qui se trouve dans la piscine. L'évaporation commence environ 40 heures après la perte du refroidissement normal. Dans ces conditions, la situation à éviter est le découverture des assemblages combustibles (période d'au moins deux semaines sans appoint d'eau). Un appoint d'eau dans la piscine de désactivation, réalisé dans les quelques heures par des systèmes conventionnels ou non conventionnels, permet de maintenir le combustible sous eau. L'eau d'appoint provient du réservoir B01Bi, soit par gravité, soit par la pompe P04Bd (alimentée par le DUR).

Les procédures actuelles du SUR seront amendées afin d'assurer un appoint et une évacuation de la vapeur.

Doel 1/2

Pendant un déchargement complet du cœur, le cœur est stocké dans les piscines PL du bâtiment des services auxiliaires nucléaires (GNH). Le refroidissement des piscines PL est repris, après la perte des systèmes de premier niveau, par l'aéro-réfrigérant PL de second niveau, via 2 pompes PL alimentées par les générateurs diesel de second niveau.

Si l'on prend en compte une unité en arrêt à chaud et une unité dont tout le cœur est déchargé, alors le stock de carburant dans le bâtiment d'ultime secours est suffisant pour 7 jours.

Si l'on utilise en plus le stock des générateurs diesel de premier niveau pour alimenter les générateurs diesel de second niveau, alors le stock de carburant est suffisant pour environ 40 jours.

Une piscine de désactivation non refroidie ne commencera à bouillir qu'après 15 heures. Le système PL est aligné manuellement dans un délai d'une heure et demie. C'est beaucoup moins que les 15 heures disponibles.

En outre, le système PL est un système fermé ne nécessitant pas d'eau supplémentaire.

Après 7 jours, les générateurs diesel de second niveau doivent être réalimentés avec du gazole. Il y a largement assez de temps pour obtenir du gazole d'autres lieux sur le site ou à l'extérieur du site.

Tihange 2 et Tihange 3

Les circuits du second niveau permettent d'amener et de maintenir le réacteur à l'arrêt à froid et de refroidir les piscines CTP. 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. Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Le seul problème qui peut être rencontré est l'épuisement du gazole et de l'huile pour les générateurs diesel du second niveau, qui interviendra après un délai (une semaine au minimum) compatible avec le délai d'arrivée d'équipements ou d'eau en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site.

Doel 3 et Doel 4

Le refroidissement des piscines de désactivation dans le bâtiment du combustible utilisé reste assuré. L'évacuation de la chaleur résiduelle des piscines de désactivation est réalisée en utilisant le système PL et le système LU, tous deux alimentés par les générateurs diesel de second niveau.

La consommation de gazole est inférieure à celle du scénario « générateurs de vapeur disponibles ». Le bunker peut continuer plus de deux mois avec le stock de gazole des réservoirs de premier niveau.

Il n'y a pas d'effet falaise pour ce scénario.

Plusieurs unités du site de Tihange affectées

La gestion de l'accident pour ce scénario sera identique à celle du cas où une seule unité du site est affectée, dans la mesure où 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 et Tihange 3).

La principale différence est l'utilisation d'eau de nappe par plusieurs unités, qui est discutée plus loin (perte de la source froide principale).

Néanmoins, en cas de perte des alimentations électriques externes combinée à la perte des générateurs diesel de premier niveau, les unités Tihange 2 et Tihange 3 peuvent utiliser l'eau de la Meuse, hormis pour le refroidissement des piscines du bâtiment DE. Tihange 1 est donc la seule unité qui utilisera la nappe phréatique à moyen terme comme source froide (autonomie de 30 jours si une seule unité est affectée). Il sera également nécessaire de prévoir à moyen terme l'utilisation des puits pour le refroidissement du bâtiment DE. Même dans ces cas, le site disposera toujours d'une autonomie de plusieurs semaines. Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Plusieurs unités du site de Doel affectées

Doel 3 et Doel 4 n'utilisant pas les systèmes de Doel 1/2, cette perte supplémentaire n'a pas d'effet. Si le site tout entier est affecté, Doel 3 et Doel 4 doivent toutefois partager le stock d'eau disponible des bassins LU avec toutes les unités. Ce stock est néanmoins suffisant.

Le réservoir de gazole du WAB reste toujours disponible.

D'autres unités affectées ne causeront pas d'effets falaises supplémentaires.

5.1.2.3. 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 Tihange 3

Les tableaux nécessaires au fonctionnement du BUS (y compris ceux réalimentés par des batteries de secours) seront réalimentés par les GDJ, 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.

Doel 1/2

En cas de perte de toutes les sources électriques externes et internes de premier niveau, on peut toujours compter sur les batteries des générateurs diesel de premier niveau. Les batteries des systèmes de premier niveau sont capables d'assurer l'alimentation de l'instrumentation et du contrôle et de la signalisation pendant 4 à 16 heures.

Les systèmes de second niveau, y compris leurs générateurs diesel, sont complètement opérationnels dans ce cas. Les batteries des générateurs diesel de second niveau sont par conséquent rechargées en permanence via des redresseurs. Aussi longtemps que les générateurs diesel d'ultime secours de second niveau sont opérationnels, l'autonomie de ces batteries est illimitée et l'alimentation électrique de l'instrumentation et du contrôle est assurée.

Doel 3 et Doel 4

En cas de perte de toutes les sources d'alimentation externes et internes de premier niveau, on peut toujours compter sur les batteries des générateurs diesel de premier niveau. Les batteries des systèmes de premier niveau peuvent assurer l'alimentation de l'instrumentation et du contrôle et de la signalisation pendant 3 à 27 heures.

Les systèmes de second niveau, y compris leurs générateurs diesel, sont complètement opérationnels dans ce cas. Les batteries des générateurs diesel de second niveau sont par conséquent rechargées en permanence via des redresseurs. Aussi longtemps que les générateurs diesel d'ultime secours de second niveau sont opérationnels, l'autonomie de ces batteries est illimitée et l'alimentation électrique de l'instrumentation et du contrôle est assurée.

5.1.2.4. Autonomie du site avant endommagement du combustible nucléaire

Centrale nucléaire de Tihange

Cet incident fait partie de la conception des centrales. Une série d'équipements et de réserves disponibles sur site permet de tenir plus de 72 heures sans apport de matériel ou de consommables depuis l'extérieur du site. L'incident sera géré selon les procédures en vigueur par les équipes de quart et d'astreinte.

Centrale nucléaire de Doel

Cet incident fait partie de la conception des centrales. Il y a suffisamment d'eau et de gazole sur le site pour plusieurs semaines. Des procédures standard d'exploitation sont disponibles de telle façon que le personnel de quart puisse gérer cette situation.

5.1.2.5. Actions (externes) prises pour éviter l'endommagement du combustible nucléaire

Tihange 1

Comme ce scénario fait partie de la conception actuelle de Tihange 1 (en puissance), il n'est pas nécessaire (à court terme) d'utiliser des moyens externes.

L'unité a des équipements alimentés par le SUR qui sont suffisants pour gérer ce type d'incident, comme décrit précédemment, et donc pour préserver l'intégrité du combustible. Dans ce scénario, la priorité sera donc donnée à retrouver une source de courant électrique (externe, GDS ou GDR).

De plus, un appoint d'eau peut également être réalisé depuis la réserve du réservoir B01Bi vers les piscines ; d'autres systèmes d'ultime secours permettent d'amener de l'eau de protection incendie vers la piscine de désactivation soit indirectement par un hydrant alimentant le réservoir de remplissage de la piscine, soit directement par un hydrant remplissant 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 de protection incendie des trois unités peut également être interconnecté.

Ces solutions peuvent être mises en œuvre bien avant que la température de l'eau ne rende difficile l'accès au bâtiment, le cas échéant. Le délai minimum avant ébullition est d'environ 10 heures.

Tihange 2 et Tihange 3

Comme ce scénario a été pris en considération dans la conception des unités, il n'est pas nécessaire (à court terme) d'utiliser des moyens extérieurs. Les systèmes de protection de second niveau permettent le refroidissement de la piscine d'entreposage de combustible et de la piscine du bâtiment DE pour Tihange 3.

Dans ce scénario, la priorité sera donnée à la récupération d'une source externe de courant électrique.

Centrale nucléaire de Doel

Comme ce scénario a été pris en considération dans la conception des unités Doel 1/2 (en puissance), Doel 3 et Doel 4, il n'est pas nécessaire dans ces circonstances d'utiliser des moyens externes.

Dans ce scénario, la priorité sera donnée à la récupération d'une source externe de courant électrique.

5.1.2.6. Mesures pouvant être considérées pour augmenter la robustesse de la centrale

Centrale nucléaire de Tihange

À Tihange 1, la gestion de cet accident utilise comme source de courant électrique le générateur diesel d'ultime repli DUR et le GUS. Un appoint de gazole au générateur diesel d'ultime repli est nécessaire trois fois par jour. Cet appoint est manuel. La mise en œuvre d'un système automatique sera analysée.

Des études seront entreprises pour analyser la possibilité de réalimenter les pompes (CTP, RRA) à Tihange 1 afin de maintenir un refroidissement en boucle fermée pour les piscines et le circuit primaire (dans les conditions de générateurs de vapeur indisponibles) dans ce type de scénario.

Les procédures actuelles pour la modification du SUR seront amendées de façon à assurer un appoint et un rejet de vapeur pour le scénario avec le cœur dans la piscine de désactivation du BAN-D.

Une procédure définissant les charges non essentielles en situation d'urgence devrait être fournie de façon à limiter la consommation de gazole pour toutes les unités de Tihange.

De plus, des procédures devraient être amendées afin d'assurer un appoint régulier d'huile pour les différents générateurs diesel.

Centrale nucléaire de Doel

En l'absence de perspective de récupération durable du réseau externe ou de fourniture de nouveau gazole après 72 heures, tous les consommateurs non essentiels sont arrêtés. Les procédures applicables sont amendées à cet effet.

Dans le cas d'une perte prolongée du réseau extérieur et d'incapacité à fournir du nouveau gazole depuis l'extérieur du site, les dispositions sont prises pour pomper le stock de gazole disponible sur le site vers les générateurs diesel les plus essentiels encore disponibles. Cela est nécessaire au plus tôt après 15 jours à Doel 1/2 et après 20 jours à Doel 3 et Doel 4. On compte pour cela sur le personnel de maintenance, qui sera certainement disponible dans ce laps de temps. Cette mesure et la manière de l'exécuter, ainsi que les personnes chargées de l'opération, doivent être décrites dans une note d'organisation. Une formation du personnel concerné est prévue.

5.1.3. Perte des alimentations électriques externes (LOOP) et perte de toutes les alimentations électriques de secours sur site (station black-out total)

Ce chapitre considère la perte de toutes les sources de courant électrique, externes ou internes, du premier niveau et du second niveau.

5.1.3.1. Dispositions de conception

Dans ces circonstances, le site de la centrale ne dispose plus que des batteries, des turbopompes et des réserves d'eau pouvant être transférées par gravité ou par des moyens mobiles non conventionnels. Dans ce cas exceptionnel, le site dispose d'une autonomie variant de quelques heures à plusieurs jours. Ce scénario est de ce fait utilisé pour la définition de moyens non conventionnels supplémentaires permettant d'assurer le maintien de l'unité dans un état stable et contrôlé sur le long terme.

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 générateur diesel ou d'une source électrique externe) puis en fonction de critères prédéfinis par les guides de gestion des accidents graves SAMG.

Il convient aussi de noter que Tihange 1 présente la particularité d'avoir un turboalternateur d'ultime secours (GUS). Celui-ci, qui sera disponible aussi longtemps que le générateur de vapeur produit assez de pression de vapeur, est un important atout. 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.

5.1.3.2. Capacité et autonomie des batteries

Centrale nucléaire de Tihange

En cas de perte de toutes les alimentations externes et internes, les derniers éléments qui peuvent être mis en œuvre sont les batteries, qui sont dimensionnées pour garantir l'alimentation de l'instrumentation et du contrôle commande pour un minimum de 3 heures pour Tihange 1 (3 heures pour Tihange 2 ou Tihange 3) selon les spécifications techniques.

Sur la base des mesures de consommation réelle (estimation de capacité réelle), la perte progressive d'alimentation électrique en liaison avec les batteries de premier niveau commence après 4 heures de fonctionnement à Tihange 1 (5 heures à Tihange 2 ou Tihange 3) et peut couvrir plus de 17 heures à Tihange 1 (plus de 15 heures à Tihange 2 ou Tihange 3).

De même, les équipements d'ultime secours ont une autonomie estimée des batteries de plus de 7 heures de fonctionnement à Tihange 1 (plus de 7 heures à Tihange 2 ou Tihange 3) dans le cas d'une perte totale des alimentations électriques externes et internes.

Centrale nucléaire de Doel

Dans le cas d'une perte simultanée de toutes les sources électriques externes et internes, on peut toujours compter sur les batteries :

- À Doel 1/2, les batteries des systèmes de premier niveau et des systèmes de second niveau assureront l'alimentation de l'instrumentation et du contrôle et de la signalisation pendant 4 à 16 heures.
- À Doel 3 et Doel 4, les batteries des systèmes de premier niveau et des systèmes de second niveau assureront l'alimentation de l'instrumentation et du contrôle et de la signalisation pendant 3 à 27 heures.

5.1.3.3. Autonomie du site avant que l'endommagement du combustible nucléaire ne devienne inévitable

Différents états initiaux de l'unité seront considérés :

- générateurs de vapeur disponibles : le circuit primaire est fermé, ce qui permet d'utiliser les générateurs de vapeur pour refroidir le combustible ;
- circuit primaire ouvert : le circuit de refroidissement du réacteur est ouvert (pendant l'arrêt de l'unité) et les générateurs de vapeur ne sont pas disponibles pour refroidir le combustible qui est encore dans la cuve ouverte du réacteur ;
- cœur en piscine de désactivation : l'unité est en arrêt et tout le combustible est évacué du cœur et mis dans les piscines de désactivation.

Générateurs de vapeur disponibles

En utilisant les turbopompes AFW, l'unité peut être refroidie et maintenue en arrêt à chaud. Les vannes de réglage AFW peuvent être actionnées manuellement. La vapeur venant des générateurs de vapeur est évacuée à l'aide des vannes de décharge.

La principale limitation rencontrée (effet falaise) est l'épuisement de l'eau contenue dans le réservoir d'eau alimentaire auxiliaire et ensuite la perte de l'instrumentation avec la perte des batteries.

Les caractéristiques et valeurs spécifiques sont présentées ci-dessous :

Tihange 1

Le volume du réservoir d'eau alimentaire de secours est 120 m³ ; cela ne permet pas plus de 3 heures de refroidissement (jusqu'à la vidange complète des générateurs de vapeur) si le SBO est soudain. Des moyens non conventionnels sont disponibles pour rétablir l'alimentation en eau de ce réservoir via le circuit de protection incendie. Le groupe motopompe diesel de protection incendie et la mise en place de flexibles permettront la réalimentation de ce réservoir dans un délai très court (30 minutes). Ces moyens non conventionnels permettent d'éviter cet effet falaise.

Cependant, pour augmenter la robustesse des installations, des études de faisabilité seront menées pour examiner les possibilités d'augmenter la capacité du réservoir d'eau alimentaire de secours et d'ajouter une pompe d'eau alimentaire de secours.

Lorsque les batteries de l'instrumentation et des tableaux de commande sont vides (effet falaise), environ 7 heures après le début de l'accident, la turbopompe se coupe et l'eau alimentaire des générateurs de vapeur est perdue. L'assèchement des générateurs de vapeur est attendu plus de 12 heures après la perte de l'alimentation électrique. Des moyens alternatifs pour rétablir le contrôle commande sont envisagés pour éviter la perte du refroidissement du cœur. Il en va de même pour maintenir un minimum d'instrumentation. Maintenir le fonctionnement de la turbopompe permettra l'utilisation éventuelle du CMU afin de fournir une alimentation aux générateurs de vapeur à faible pression.

Doel 1/2

Le réservoir AFW a une capacité de 90 m³. Le remplissage normal de ce réservoir n'est pas possible en l'absence d'alimentation électrique, mais il est possible de passer au réservoir MW1/2R2, qui a le même volume. De cette façon, l'unité peut être maintenue en arrêt à chaud pendant 7 heures. Si l'unité est refroidie plus vite en utilisant ces stocks, l'autonomie est 1,5 heure.

Il est possible d'injecter de l'eau FE en utilisant des tuyaux d'incendie dans le collecteur de secours MW et directement vers le réservoir AFW par cette voie. Si la pompe diesel d'incendie est toujours disponible, elle sera utilisée pour pomper de l'eau du réservoir TW (1 300 m³) vers les réservoirs AFW. En sauvegarde pour les options de remplissage précitées, il y a sur le site une pompe diesel qui peut être utilisée pour pomper de l'eau directement du grand réservoir MW (1 500 m³) vers le réservoir AFW. En ultime secours, les pompes diesel mobiles sur le site peuvent être utilisées pour pomper de l'eau de n'importe quel stock d'eau disponible directement vers le réservoir AFW. Il est également possible de remplir les stocks avec le système FE depuis les bassins LU de Doel 3 et Doel 4 (3 x 30 000 m³).

Dans les 10 premières heures, il y a suffisamment de batterie pour surveiller tous les paramètres. Dans ce laps de temps, un approvisionnement alternatif doit être fourni afin qu'il soit possible de continuer à surveiller tous les paramètres en vue d'éviter le surremplissage ou l'assèchement des générateurs de vapeur.

Tihange 2 et Tihange 3

L'évacuation de la chaleur résiduelle par les générateurs de vapeur, alimentés par la turbopompe EAA, est limitée par le volume disponible dans le réservoir EAA (680 m³ à Tihange 2 et 800 m³ à Tihange 3) si un appoint n'est pas réalisé au plus tard dans les 17 heures environ à Tihange 2 (23 heures à Tihange 3) après le début de l'accident. Maintenir le fonctionnement de la turbopompe permettra finalement d'utiliser le CMU pour assurer l'eau alimentaire vers les générateurs de vapeur lorsque ceux-ci fonctionnent à basse pression.

Lorsque les batteries de l'instrumentation et des tableaux de commande sont vides, après une période estimée entre 6 et 12 heures dans le cas de Tihange 2 (14 heures pour Tihange 3) après le début d'un accident, le réglage de la vitesse de la turbopompe et des débits générés vers le générateur de vapeur doit être fait manuellement. À ce stade, la lecture du niveau

d'eau des générateurs de vapeur est perdue également. L'opérateur doit avoir réglé au préalable un débit d'eau correct vers les générateurs de vapeur sans quoi cela pourrait à terme mener à l'assèchement ou au contraire à un excès d'eau dans les générateurs de vapeur. Le maintien d'une instrumentation minimale est assuré par des moyens non conventionnels.

Doel 3 et Doel 4

Il y a $2 \times 700 \text{ m}^3$ d'eau disponibles dans les réservoirs AF, ce qui suffit pour plus de 8 heures. Ensuite, les réservoirs MW ($2\,000 \text{ m}^3$) peuvent être alignés manuellement. Et enfin, les bassins LU ($3 \times 30\,000 \text{ m}^3$) sont alignés manuellement vers le collecteur AF. De cette façon, il y a assez d'eau pour des douzaines de jours. En ultime secours, les pompes diesel mobiles sur le site peuvent être utilisées pour pomper de l'eau depuis n'importe quel stock d'eau disponible vers les bassins LU.

S'il n'y a pas d'alimentation du tout, les batteries assureront l'alimentation de l'instrumentation et du contrôle pendant au moins 4 à 6 heures.

Dans les 3 premières heures, il y a suffisamment de batterie pour surveiller tous les paramètres. Dans ce laps de temps, un approvisionnement alternatif doit être fourni afin qu'il soit possible de continuer à surveiller tous les paramètres en vue d'éviter le surremplissage ou l'assèchement des générateurs de vapeur.

Circuit primaire ouvert

Ce cas couvre un nombre important de configurations du système primaire qui diffèrent fortement par la quantité de chaleur résiduelle et l'inventaire en eau dans le circuit primaire (y compris le volume des piscines du bâtiment réacteur). Le scénario le plus défavorable est la première étape dite « mi-boucle » ou « à inventaire réduit » d'un arrêt de tranche.

Après la perte totale des alimentations électriques, l'eau du circuit primaire s'échauffe jusqu'à l'ébullition dans un délai inférieur à une demi-heure, suivie par le dégagement dans le bâtiment réacteur de la vapeur produite. Ce dégagement de vapeur aurait pour effet potentiel de provoquer une montée en pression progressive de l'enceinte et de bloquer l'appoint gravitaire si rien n'était fait pour dépressuriser l'enceinte.

Les caractéristiques et valeurs spécifiques sont présentées ci-dessous :

Tihange 1

À Tihange 1, l'appoint gravitaire à partir du réservoir B01Bi est efficace et peut retarder le découverture du cœur durant un jour. Si aucune intervention n'est réalisée, le combustible pourrait être endommagé après plus d'un jour.

Une ventilation VBP (secourue par les générateurs GDS de premier niveau et par le DUR) évite la pressurisation de l'enceinte par évacuation de la chaleur produite. En cas d'urgence, l'ouverture partielle de l'enceinte permet également d'éviter cette pressurisation. D'autres stratégies de gestion de la surpression de l'enceinte seront examinées.

Doel 1/2

L'eau évaporée est remplacée en vidant par gravité le RWST dans le système primaire. Si l'on réalise l'appoint du circuit primaire, la pression dans le bâtiment du réacteur aura augmenté à la pression ultime au plus tôt après 3 jours. D'ici là, le système d'aspersion dans le bâtiment réacteur doit être mis en service ou le bâtiment réacteur doit être éventé de manière contrôlée.

Tihange 2

À Tihange 2, l'alimentation gravitaire depuis les réservoirs CTP est efficace et peut retarder de 8 heures le découverture du cœur. La réalimentation des réservoirs CTP au départ de diverses sources d'eau (drainage partiel des piscines ou tout autre moyen alternatif) permet de prolonger leur autonomie jusqu'au rétablissement d'une source de refroidissement conventionnelle.

Tihange 3

À Tihange 3, l'alimentation gravitaire depuis les réservoirs CTP ne peut pas être réalisée à cause de la position des réservoirs (plus basse que le circuit primaire). Si aucune action n'est

prise, le combustible sera endommagé après 3 heures. Une étude de faisabilité est prévue pour un appoint alternatif.

La réalimentation des réservoirs CTP depuis diverses sources d'eau (drainage partiel des piscines ou tout autre moyen alternatif) permet de prolonger leur autonomie jusqu'à récupération d'une source de refroidissement conventionnelle.

Doel 3 et Doel 4

L'eau évaporée est remplacée en vidant par gravité le RWST dans le circuit primaire. Au plus tôt après 3 jours, la pression dans le bâtiment réacteur aura augmenté à la pression ultime. D'ici là, le système d'aspersion dans le bâtiment réacteur doit être mis en service.

Cœur dans les piscines 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 de cette piscine.

Le refroidissement du combustible est maintenu par évaporation et appoint en eau, mis en œuvre sous quelques heures. En théorie, sans appoint d'eau froide à la piscine, l'évaporation commencera après plusieurs heures et le délai avant le découverture des assemblages combustibles (effet falaise) est de quelques jours si le tube de transfert est fermé et qu'aucune action n'est prise pour remédier à la situation.

L'accès au bâtiment deviendra difficile à terme par la présence de vapeur. 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...) permettra d'éviter une surpression dans le bâtiment.

Le temps de mise en œuvre des appoints en eau est compatible avec les délais mentionnés ci-dessus. Etant donné les nombreux moyens d'appoint en eau qui peuvent être utilisés par l'unité, cet effet falaise est très improbable.

Plusieurs unités du site de Tihange affectées

L'analyse ci-dessus a été réalisée pour chacune des unités de Tihange indépendamment. Si plusieurs unités sont affectées en même temps, il n'y aura pas de contraintes supplémentaires dans la mesure où, à court terme, chaque unité utilise ses propres moyens et ses propres réserves.

Plusieurs unités du site de Doel affectées

Pour Doel, le fait que tout le site soit affecté aura un impact sur certaines évaluations de l'autonomie.

Pour Doel 1/2, le système FE ne peut pas être maintenu sous pression par les systèmes de Doel 3 et Doel 4. En conséquence, l'autonomie des systèmes de Doel 1/2 est réduite, de quasi illimitée à des périodes plus courtes mais tout de même suffisamment longues.

Pour Doel 3 et Doel 4, le système FE ne peut pas être maintenu sous pression par les systèmes de Doel 1/2 et d'autres moyens (non conventionnels) doivent être utilisés pour compenser l'eau évaporée pour les scénarios des piscines de combustible usé.

5.1.3.4. Actions (externes) prévues pour éviter l'endommagement du combustible nucléaire

La perte complète des alimentations électriques externes et internes est gérée initialement par les procédures d'accident (priorité importante sur le rétablissement rapide d'un générateur diesel ou d'une source électrique externe) puis par les guides de gestion d'accidents graves SAMG suivant des ensembles de critères prédéfinis. En cas de perte complète des alimentations électriques de premier et second niveau, seuls les équipements fonctionnant sur batteries (jusqu'à épuisement de celles-ci) et la turbopompe d'eau alimentaire de secours restent disponibles.

Les actions prévues pour prévenir l'endommagement du combustible et le délai avant endommagement pour ce scénario sont décrits au paragraphe précédent.

Pour l'heure, aucun équipement supplémentaire extérieur au site n'est pris en considération par l'exploitant du site en cas de perte complète des alimentations électriques externes et internes.

Pour la centrale nucléaire de Tihange, dans le cadre des révisions périodiques de la sûreté, une inondation causant la perte complète des alimentations électriques a été étudiée et a mené à la mise

en place de mesures supplémentaires (équipements CMU). Des équipements CMU sont mis en place et utilisés dans ce cas en accord avec la stratégie définie.

5.1.3.5. Mesures pouvant être considérées pour augmenter la robustesse de la centrale

Centrale nucléaire de Tihange

La perte complète des alimentations électriques de premier et second niveau n'est pas prévue dans les scénarios d'accidents de la base de conception des centrales de Tihange 1, Tihange 2 ou Tihange 3. L'autonomie des batteries et des réservoirs permettra de conserver temporairement certaines fonctions (refroidissement du cœur).

Une série de systèmes 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 d'alerte compatible avec le temps nécessaire pour la mise en œuvre de ces moyens et le passage en situation d'urgence.

L'analyse plus limitative effectuée pour ce scénario a identifié certains problèmes dans la gestion de la perte complète et simultanée de toutes les sources électriques (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 mise en place

- Fourniture d'une alimentation électrique de 380 V supplémentaire afin de pouvoir rétablir des fonctions élémentaires en cas de perte des sources électriques de premier niveau et de second niveau ;
- Utilisation du générateur électrogène du CMU pour réalimenter le 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 : perte de toutes les alimentations électriques et collecte de l'information hors du bâtiment ;
- Mise en place de dispositions pour permettre l'isolement des accumulateurs SI pendant la dépressurisation du circuit primaire.

Engagement pour les 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 en utilisant une pompe mobile, pour éviter une surpression dans le bâtiment ;
- Étude de faisabilité pour augmenter la capacité de l'EAS et pour ajouter une motopompe d'eau alimentaire de secours (Tihange 1) ;
- Étude de faisabilité pour la mise en place de moyens non conventionnels afin d'assurer l'appoint au circuit primaire en configuration circuit primaire ouvert (pour Tihange 2 et Tihange 3) ;
- Étude de faisabilité pour la fiabilisation des interventions manuelles sur les vannes de décharge à l'atmosphère des générateurs de vapeur (Tihange 1 et Tihange 3) ;
- Étude de faisabilité pour l'ajout de compresseurs mobiles à raccorder au système d'air comprimé d'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 des pompes primaires, coordination avec les moyens non conventionnels présents sur le site, suppression des charges non essentielles, pilotage des TPA en local, appoint en eau et évacuation de la vapeur des piscines et priorisation des actions en local en cas de perte du refroidissement normal des piscines, etc.).

Il sera également nécessaire de modifier les « procédures d'accident » existantes pour prendre en compte ce scénario. 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 (gestion des équipements, documents, etc.) sans affecter la gestion des incidents/accidents de conception.

Centrale nucléaire de Doel

Générateurs de vapeur disponibles

Les solutions matérielles ci-après sont prévues :

- Les générateurs diesel requis (10 x 30 kVA, 4 x 350 kVA) sont déjà disponibles sur le site, et peuvent être utilisés comme alimentation ultime pour les systèmes d'instrumentation et de commande et pour les systèmes de mesure.
- Pour Doel 1/2, la turbopompe est alimentée depuis le petit réservoir AFW. Des pompes diesel mobiles sont disponibles sur le site pour remplir ce réservoir.
- Pour éviter que l'azote venant des accumulateurs SI parvienne dans le circuit primaire, une alimentation électrique alternative est prévue pour alimenter les vannes d'isolement des accumulateurs SI avec les générateurs diesel mobiles.

Les amendements procéduraux suivants sont prévus :

- Mise à jour d'une procédure d'exploitation dans le cas d'un SBO total ou de LUHS (par exemple refroidissement rapide à l'aide des générateurs de vapeur).
- Les procédures nécessaires sont prévues pour utiliser les ressources précitées.

Circuit primaire ouvert

Les amendements matériels suivants sont prévus :

- Pour Doel 1/2, le refroidissement du réacteur sera réalisé initialement par ébullition et remplissage gravitaire de l'inventaire en eau. Après 12 heures, la pompe SP reprendra cette tâche. Un raccordement est prévu pour pouvoir alimenter les pompes SP à partir des générateurs diesel mobiles disponibles.
- Pour Doel 1/2, s'il y a de la pression dans le système RC, la tuyauterie d'aspersion vers le bâtiment réacteur doit être isolée. La possibilité d'installer une autre vanne manuelle à cet effet est en cours d'investigation.
- Pour Doel 3 et Doel 4, étudier si les raccordements nécessaires peuvent être réalisés à l'aspiration et au refoulement de la pompe SP et acheter une pompe mobile (250 m³/h à 13 bars) pour obtenir un débit SP alternatif.

Les procédures nécessaires sont prévues pour utiliser les équipements mentionnés ci-dessus.

Cœur dans les piscines de désactivation

Les solutions matérielles suivantes sont étudiées :

- Pour qu'il soit possible de remplir plus facilement les piscines PL dans le GNH ou le SPG, on examine si des conduites et raccordements permanents pourraient être prévus pour réaliser cette opération de l'extérieur en utilisant des pompes mobiles. Les procédures nécessaires sont prévues pour utiliser les équipements mentionnés ci-dessus.

5.2. Perte de la source froide

5.2.1. Perte de la source froide principale (LUHS)

Centrale nucléaire de Tihange

La centrale nucléaire de Tihange, située à côté de la Meuse, a plusieurs sources froides. 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, en tant que source froide pour les circuits de refroidissement. En plus de la possibilité de pomper dans le canal d'amenée, les unités de Tihange 2 et Tihange 3 disposent aussi d'une prise d'eau profonde dans le lit du fleuve, permettant d'alimenter le système de refroidissement de ces unités en cas de baisse importante du niveau de la Meuse.

En cas de perte de l'eau de la Meuse, toutes les unités disposent également de puits alimentés par la nappe phréatique. Le site a également plusieurs réservoirs d'eau.

Il convient également de noter que depuis 2011, l'accès à une source d'eau souterraine indépendante et plus profonde que la nappe phréatique constitue une ressource supplémentaire.

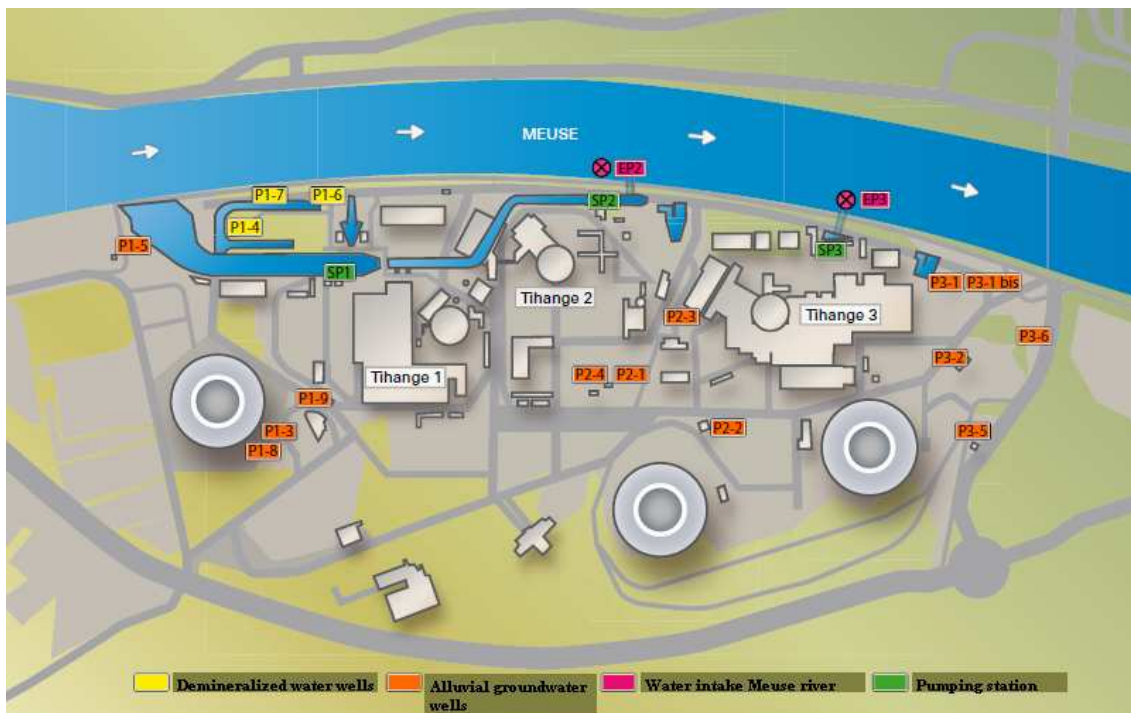


Figure 15 : Plan des sources froides à Tihange

Centrale nucléaire de Doel

En exploitation normale, les unités utilisent l'Escaut pour le refroidissement. L'eau de l'Escaut est pompée en permanence par le biais du système CW. À Doel 1/2, une partie du flux CW est utilisée pour refroidir le système CC. À Doel 3 et Doel 4, une partie du flux CW est utilisée pour remplir les tours de refroidissement du système RN. En cas de perte de tous les raccordements avec l'Escaut, les unités doivent être refroidies par des systèmes de refroidissement alternatifs.

Pour Doel 1/2 et Doel 3 et Doel 4, la perte de la source froide principale est la perte de l'alimentation en eau de refroidissement (CW/Cooling Water) venant de l'Escaut.

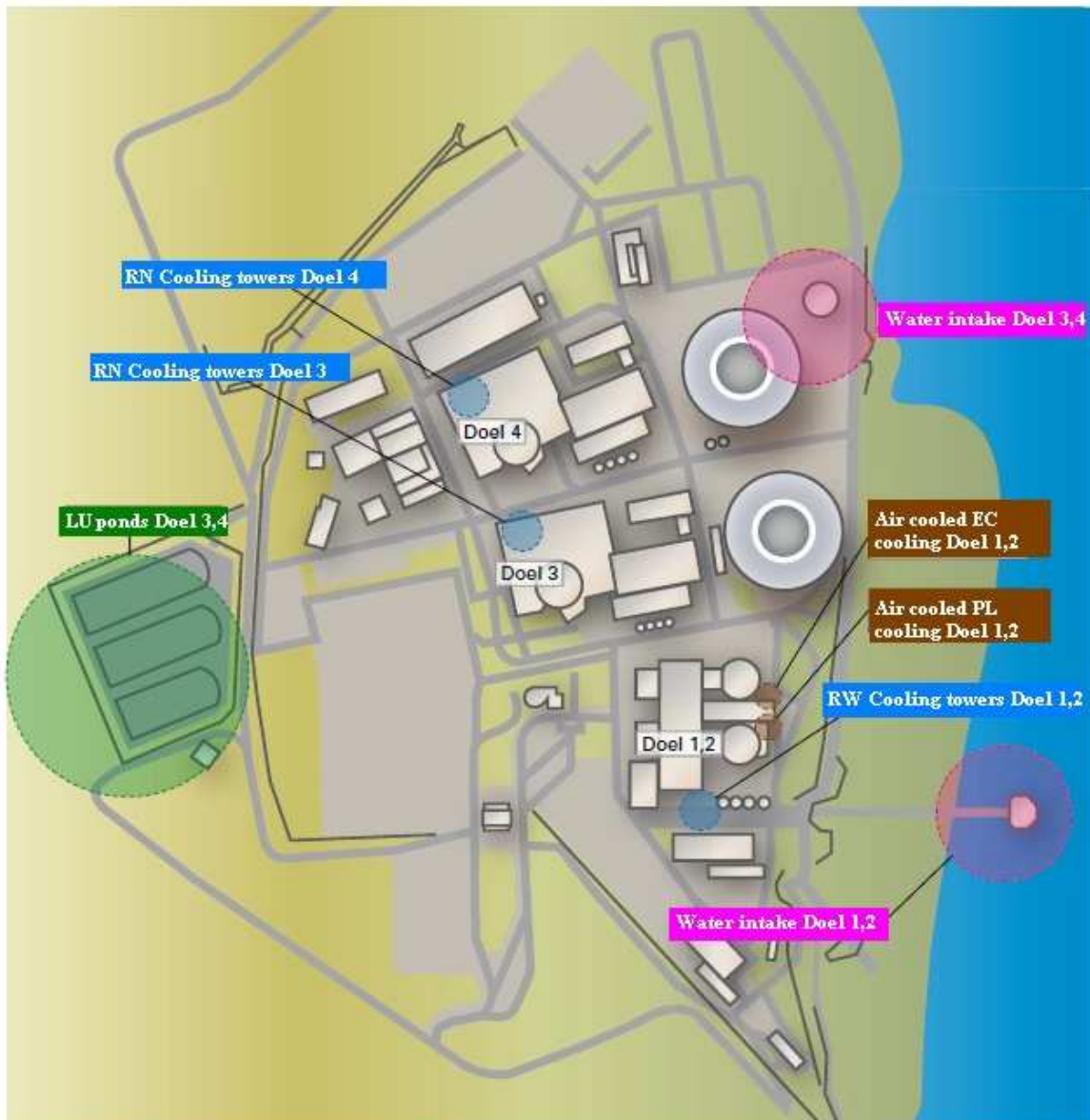


Figure 16 : Plan des sources froides à Doel

5.2.1.1. Dispositions de conception

Centrale nucléaire de Tihange

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 pour les pompes du circuit d'eau brute (CEB) est située dans un canal d'amenée constituant un bras artificiel du fleuve.

Tous les systèmes mentionnés dans ce scénario sont classés comme résistants à un séisme DBE.

Tihange 1

Le scénario considéré ci-après prend en compte un accident survenant à Tihange 1 seule.

a) Mesures de conception de Tihange 1

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 générateurs diesel de secours (GDS). Un train CEB suffit pour amener et maintenir l'unité en état d'arrêt à froid.

Si le niveau d'eau de la Meuse descend trop bas pour les pompes CEB, le circuit d'eau de nappe (qui fait partie du CEB) sera aligné manuellement. En cas de rupture d'une grande porte écluse au barrage d'Ampsin-Neuville, situé en aval du site, le personnel sur site devrait avoir 30 minutes, selon le rapport de sûreté, pour réaligner les systèmes de cette façon. Ce délai peut être porté à 1 ou 2 heures en fonction du débit considéré de la Meuse.

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 de la prise d'eau. Toutefois, les filtres 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 mbars) sur le filtre.

Des dispositions sont également prises pour surveiller les filtres et les dégrilleurs : inspections régulières au niveau de la station de pompage pour vérifier l'encrassement des filtres, passage en recirculation de l'unité en cas de crue exceptionnelle 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 générateurs diesel de secours (GDS). Ce système a deux puits, chacun équipé de deux pompes. Une seule pompe fonctionne à la fois. La deuxième pompe n'est activée 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 également être établie.

Le circuit d'eau de nappe a une autonomie d'au moins 30 jours si une seule unité est affectée. Dans le scénario d'une rupture sur le barrage d'Ampsin-Neuville, seule Tihange 1 puiserait dans la nappe phréatique tandis que Tihange 2 et Tihange 3 continueraient de puiser l'eau dans le lit de la Meuse par les prises d'eau profondes.

b) Autonomie de Tihange 1 avant que le combustible ne soit endommagé

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 réaligné manuellement. Dans le cas hypothétique – qui ne fait pas partie de la base de conception – d'une perte instantanée des pompes CEB, il n'y aura plus aucune source froide disponible jusqu'à ce que le réalignement du circuit d'eau de nappe soit terminé. En cas de perte graduelle de l'aspiration des pompes CEB, par exemple en cas de rupture d'une porte du barrage d'Ampsin-Neuville, l'équipe de quart dispose 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 scénarios :

1. Perte instantanée d'aspiration par les pompes CEB à partir du canal d'amenée.
2. Perte graduelle d'aspiration par les pompes CEB à partir du canal d'amenée (incluse dans la base de conception).

SCENARIO 1 : Perte instantanée d'aspiration par les pompes CEB à partir du canal d'amenée

Générateurs de vapeur disponibles

Les générateurs de vapeur sont alimentés en eau par les pompes EAS qui puisent dans le réservoir EAS (120 m³). Sans appoint, l'autonomie du réservoir EAS serait limitée à 60 minutes. Toutefois, un appoint est actionné automatiquement par une vanne à flotteur une fois que l'eau atteint un niveau prédéfini (depuis les réservoirs d'eau déminéralisée). Cet appoint automatique porte l'autonomie à au moins 4 heures.

Circuit primaire ouvert

Le refroidissement par les échangeurs RRA n'est pas possible avant réaligement 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. L'utilisation de cet appoint laisse suffisamment de temps pour aligner le circuit d'eau de nappe. On se retrouve alors dans le scénario 2.

Cœur dans les piscines 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 alignement du circuit d'eau de nappe, on se retrouve dans le scénario 2.

SCENARIO 2 : Perte graduelle d'aspiration par les pompes CEB à partir du 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 également être réalisée.

La capacité des puits CEU leur confère une autonomie d'au moins 30 jours si une seule unité est affectée.

Générateurs de vapeur disponibles

L'appoint en eau de nappe des générateurs de vapeur est assuré depuis le réservoir et les pompes EAS. À terme, le circuit d'eau de nappe peut ajouter de l'eau dans le réservoir et permettre de maintenir le réacteur dans un état 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 est en mesure de maintenir le réacteur à l'arrêt stable et contrôlé.

Cœur dans les piscines de désactivation

Les piscines CTP peuvent être refroidies par le circuit d'eau de nappe.

c) Conclusions générales pour Tihange 1

Il n'y a pas d'effet falaise en cas de perte instantanée ou graduelle de la source froide principale. En effet, à Tihange 1, cet accident est géré par l'utilisation du circuit d'eau de nappe après raccordement manuel. L'autonomie de l'eau de nappe est d'au moins 30 jours si 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 Tihange 3

Le scénario considéré ci-dessous prend en compte un accident survenant dans l'une des deux unités (Tihange 2 ou Tihange 3). Le principe est le même pour ces deux unités.

a) Mesures de conception de Tihange 2 et Tihange 3

Le circuit d'eau brute (CEB) de chaque unité inclut trois trains de pompage complets et peut être alimenté électriquement par les générateurs diesel de secours (GDS). Deux trains CEB suffisent à amener et maintenir l'unité en état d'arrêt à froid.

Il y a deux prises d'eau profonde dans le lit de la Meuse, chacune d'une capacité suffisante pour couvrir tous les besoins et capable d'alimenter les pompes CEB. Ces prises d'eau profonde sont normalement fermées. Si le niveau de la Meuse descend sous celui du fond du canal d'amenée, une de ces connexions avec le lit du fleuve est ouverte manuellement.

En cas de rupture d'une grande porte écluse dans le barrage d'Ampsin-Neuville, situé en aval du site, le personnel du site devrait avoir 2 heures et 20 minutes, selon le rapport de sûreté, pour réaligner les circuits de cette façon. Ce délai peut être porté à plus de 6 heures en fonction du débit de la Meuse pris en considération.

Les prises d'eau profonde en Meuse pourraient également être utilisées dans le cas où l'aspiration normale des pompes CEB depuis le canal d'amenée deviendrait impossible pour d'autres raisons, par exemple un colmatage des dégrilleurs. Toutefois, les filtres 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.

Des dispositions sont également prises pour surveiller les filtres et dégrilleurs : inspections régulières au niveau de la station de pompage pour vérifier l'encrassement des filtres, passage en recirculation de l'unité en cas de crue exceptionnelle 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 ultime (CEU) peut fournir l'eau nécessaire pour amener et maintenir l'unité en état d'arrêt stable et contrôlé. Le CEU comporte trois trains et est actionné par les générateurs diesel d'ultime secours de second niveau (GDU). Chaque train CEU est équipé d'une pompe qui puise dans le canal d'amenée (eau de Meuse) et d'une pompe de puits (nappe phréatique). Normalement, ces deux pompes ne fonctionnent pas simultanément puisque, selon les situations, une d'elles pourrait être perdue suite à un accident d'origine externe. Ces différents puits sont géographiquement éloignés l'un de l'autre et de la station de pompage.

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 pourraient encore être utilisées en ouvrant les prises d'eau profondes dans le lit du fleuve (voir plus haut) qui permet d'alimenter ces pompes.

Les piscines de combustible usé 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 est disponible à partir d'une pompe de puits CEU de Tihange 2 ou Tihange 3.

b) Autonomie des unités Tihange 2 et Tihange 3 avant endommagement du combustible

Si la prise d'eau normale dans le canal est perdue, les pompes CEB de Tihange 2 et Tihange 3 peuvent puiser de l'eau directement depuis les prises d'eau profondes du lit de la Meuse. Cela nécessite l'ouverture manuelle de la connexion, ce qui peut se faire dans un délai compatible avec le délai de perte de l'aspiration normale. Même en cas de rupture au barrage d'Ampsin-Neuville, le niveau de la Meuse resterait 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 scénarios :

1. Perte de l'aspiration normale d'eau de Meuse depuis le canal d'amenée (inclus dans la base de conception) ;
2. Perte totale d'aspiration d'eau de Meuse (inclus dans la base de conception).

SCENARIO 1 : Perte de l'aspiration normale d'eau de Meuse depuis le canal d'amenée (inclus dans la base de conception)

Comme déjà indiqué, il est possible d'établir une connexion manuelle entre l'aspiration des pompes CEB et la prise d'eau profonde dans le lit de la Meuse, ce qui maintient le circuit CEB disponible. L'autonomie est alors illimitée.

Générateurs de vapeur disponibles

Dans un premier temps, le cœur est refroidi par les générateurs de vapeur alimentés en eau par le circuit EAA. En cas d'épuisement du réservoir EAA, il est possible d'alimenter les générateurs de vapeur en utilisant les réserves d'eau déminéralisée puis, si nécessaire, en eau brute. Cela peut être fait par le CEB normal via les pompes EAA ou avec le système AUG de second niveau. Toutefois, l'autonomie de l'EAA permet d'atteindre des conditions compatibles avec l'utilisation du circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt RRA. Ce circuit est lui-même refroidi par le circuit de réfrigération intermédiaire (CRI), qui est à son tour refroidi par le CEB.

Circuit primaire ouvert

Le CRI (refroidi par le CEB) refroidit le cœur via les échangeurs RRA et les piscines CTP via les échangeurs CTP.

Cœur dans les piscines de désactivation

Le CRI (refroidi par le CEB) refroidit les piscines CTP via les échangeurs CTP.

Piscines de désactivation DE

Les piscines de désactivation du bâtiment DE sont refroidies indirectement par le CEB de Tihange 3. La prise d'eau profonde et les sources 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 (inclus dans la base de conception)

La situation de perte totale de la prise d'eau de Meuse est intégrée dans la base de conception des systèmes de protection de second niveau de Tihange 2 et Tihange 3.

Dans ce cas, la source froide est la nappe phréatique. La capacité des puits du CEU puisant dans la nappe confère une autonomie d'au moins 30 jours si une seule unité est affectée. Cette autonomie est largement suffisante pour permettre l'arrivée de matériels ou d'eau en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site.

Générateurs de vapeur disponibles

Les systèmes du second 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 systèmes du second niveau (alimentés en eau par les puits CEU) peuvent maintenir le réacteur à l'arrêt stable et contrôlé.

Cœur dans les piscines de désactivation

Les piscines CTP peuvent être refroidies par les systèmes du second niveau de protection (échangeurs CTP alimentés en eau de puits via le CRU).

Piscines de désactivation 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.

c) Conclusions générales pour Tihange 2 et Tihange 3

Il n'y a pas d'effet falaise en cas de perte instantanée ou graduelle de la source froide. En effet, cet accident est géré, à Tihange 2 et Tihange 3, par l'utilisation du circuit CEB (prises d'eau profonde dans le lit de la Meuse) ou du circuit CEU (nappe phréatique). L'autonomie de l'eau de nappe est d'au moins 30 jours si 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 de Tihange affectées

La gestion de la perte de source froide dans les trois unités dépend essentiellement de la possibilité d'utiliser ou non la prise d'eau profonde de la Meuse pour les unités Tihange 2 et Tihange 3.

Si la prise d'eau profonde de la Meuse est toujours disponible, Tihange 1 utilise la nappe et Tihange 2 et Tihange 3 utilisent l'eau de la Meuse. L'autonomie est alors d'au moins 30 jours pour Tihange 1 et illimitée pour Tihange 2 et Tihange 3. Si les prises d'eau profonde sont toutes perdues, les trois unités se réapprovisionnent 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. L'autonomie d'utilisation de la nappe phréatique a été déterminée en considérant une telle hypothèse. En cas d'événement affectant plus d'une unité, le cas réaliste de deux unités avec générateurs de vapeur disponibles et une unité refroidie par le RRA a été considéré.

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 générateurs de vapeur 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 le RRA.

Si Tihange 3 fait partie des unités affectées par une perte totale la prise 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 alors par appoint d'eau grâce aux différents moyens non conventionnels présents sur le site. Ils peuvent être déployés sous quelques heures, soit bien avant le délai d'endommagement des assemblages combustibles, qui est de 20 jours.

Centrale nucléaire de Doel

La probabilité que tout le site soit affecté par la perte de la source froide principale est très improbable pour Doel. Les zones de prise d'eau de Doel 1/2 et de Doel 3 et Doel 4 sont très séparées les unes des autres, et leur principe de fonctionnement est différent. La station de pompage de Doel 1/2 est située dans l'Escaut. La station de pompage de Doel 3 et Doel 4 est située sur le site même mais est raccordée par des canalisations souterraines à un puits d'aspiration dans l'Escaut.

Dans le cas où Doel 3 et Doel 4 sont affectées et Doel 1/2 ne sont pas affectées par la perte de la source froide principale, l'eau de refroidissement peut être pompée de Doel 1/2 vers Doel 3 et Doel 4. Cet alignement requiert des actions manuelles locales et prend quelques heures.

Doel 1/2

Les unités sont conçues pour que les équipements de sûreté et le réacteur continuent d'être refroidis en cas de perte de la source froide principale. Nous décrivons tout d'abord ci-dessous les systèmes de secours disponibles du premier niveau et du second niveau, puis les scénarios dans les trois conditions de fonctionnement.

a) Mesures de conception de Doel 1/2 : secours par les systèmes de premier niveau

En cas de perte de la source froide principale, le refroidissement du circuit CC est assuré par le circuit RW (circuit d'eau brute). Le circuit RW est un système de sûreté comprenant quatre trains et peut être alimenté par les générateurs diesel de secours de premier niveau. Le circuit RW comprend 4 boucles fermées refroidies par des tours de refroidissement à tirage forcé. Pour compenser la perte d'eau dans les tours de refroidissement, les réservoirs des tours de refroidissement peuvent être remplis de diverses façons :

- Remplissage gravitaire depuis le réservoir d'eau de ville.
- Remplissage gravitaire depuis le réservoir commun d'eau déminéralisée.
- Remplissage avec l'eau de l'Escaut.
- En plus des options de remplissage précédentes, il est également possible de remplir les tours de refroidissement RW directement via le circuit FE.

Le remplissage est assuré automatiquement pendant environ 12 heures par remplissage gravitaire depuis les réservoirs TW et RW. Des actions manuelles sont nécessaires pour les autres options de remplissage.

b) Mesures de conception de Doel 1/2 : secours par les systèmes de second niveau

Si le circuit CC/RW devient indisponible en plus de la source froide principale (système CW), alors le refroidissement du circuit SC (refroidissement à l'arrêt) et des piscines PL pour l'entreposage de combustible nucléaire usé est assuré par les systèmes de second niveau.

- En remplacement du système CC sur le SC, il y a le circuit EC de refroidissement de second niveau (refroidissement d'ultime secours). Le circuit EC est commun aux deux unités. Il comprend 2 pompes et 2 aéro-réfrigérants qui sont placés en parallèle sur une même boucle et qui peuvent refroidir les quatre échangeurs de chaleur du SC et les 6 pompes SC. Les équipements du système sont placés dans le bâtiment d'ultime secours GNS (pompes et chambre d'expansion), et sur le toit du GNS (aéro-réfrigérants). Les pompes SC et les réfrigérants sont dans le bâtiment des services auxiliaires nucléaires et sont alimentés à la fois par les premier et second niveaux.
- En remplacement des réfrigérants PL, le refroidissement des piscines du bâtiment des services auxiliaires nucléaires peut être commuté sur un aéro-réfrigérant (appartenant au système PL) sur le toit du bâtiment d'ultime secours GNS. Deux des trois pompes PL peuvent être alimentées par les générateurs diesel de second niveau pour assurer cette fonction. La troisième pompe PL est alimentée par les générateurs diesel de premier niveau.

Aussi longtemps que les systèmes de premier niveau sont opérationnels, les systèmes de second niveau ne sont pas requis. Les générateurs diesel des deux niveaux sont refroidis par des aéro-réfrigérants et restent donc disponibles sans la source froide principale, sans CC/RW et sans EC.

c) Autonomie de Doel 1/2 avant endommagement du combustible

Générateurs de vapeur disponibles

Les tours de refroidissement RW de premier niveau assurent que tous les systèmes de sûreté de premier niveau restent refroidis via le système CC.

Le refroidissement du cœur est assuré par refroidissement via les générateurs de vapeur et la transition subséquente vers le refroidissement par le SC. Le refroidissement via les générateurs de vapeur est assuré au premier niveau par le circuit AFW (eau alimentaire auxiliaire). Au second niveau, le système EF (eau alimentaire d'ultime secours) dans le bâtiment d'ultime secours GNS peut être utilisé.

Il n'y a pas d'effets falaises pour ce scénario. Il y a largement assez d'alimentation en eau disponible à Doel 1/2 pour réalimenter les tours de refroidissements RW. De plus, un remplissage est possible via le système FE depuis les bassins ($3 \times 30\,000 \text{ m}^3$) à Doel 3 et Doel 4.

Si l'alimentation en eau est épuisée, alors les systèmes de second niveau de Doel 1/2 seront utilisés et le système EC dans le bâtiment d'ultime secours GNS reprendra la fonction du circuit CC.

Circuit primaire ouvert

Les tours de refroidissement RW de premier niveau assurent que tous les systèmes de sûreté de premier niveau restent refroidis.

Le cœur est refroidi via le système SC et le circuit CC qui est à son tour refroidi par la source froide alternative (RW).

Il n'y a pas d'effets falaises pour ce scénario. Il y a largement assez d'alimentation en eau disponible à Doel 1/2 pour réalimenter les tours de refroidissements RW. De plus, un remplissage est possible via le système FE depuis les bassins ($3 \times 30\,000 \text{ m}^3$) à Doel 3 et Doel 4.

Si l'alimentation en eau des bassins est épuisée, alors le circuit EC dans le bâtiment d'ultime secours reprendra la fonction du circuit CC.

Cœur dans les piscines de désactivation

Les tours de refroidissement RW de premier niveau assurent que les piscines d'entreposage de combustible usé restent refroidies.

Le cœur est refroidi via le circuit PL et le circuit CC, qui est à son tour refroidi par la source froide alternative (RW).

Il n'y a pas d'effets falaises pour ce scénario. Il y a largement assez d'alimentation en eau disponible à Doel 1/2 pour réalimenter les tours de refroidissements RW. De plus, un remplissage est possible via le système FE depuis les bassins ($3 \times 30\,000 \text{ m}^3$) à Doel 3 et Doel 4.

Si l'alimentation en eau des bassins est épuisée, les réfrigérants PL dans le bâtiment d'ultime secours reprendront la fonction du circuit CC.

Doel 3 et Doel 4

Chaque unité est conçue pour que les équipements de sûreté et le réacteur continuent d'être refroidis en cas de perte de la source froide principale. Le circuit CC est toujours refroidi via le système RN (tours de refroidissement RN), qui reçoit un appoint d'eau du circuit CW. Si le circuit CW est perdu, le système RN passe automatiquement au circuit CD pour compenser la perte de l'inventaire en eau. Le circuit CD puise son eau dans les bassins LU de Doel 3 et Doel 4 ($3 \times 30\,000 \text{ m}^3$).

a) Mesures de conception de Doel 3 et Doel 4 : secours par les systèmes de premier niveau

Le circuit RN est un circuit fermé qui refroidit le circuit CC et qui rejette la chaleur à l'atmosphère via les tours de refroidissement. Le circuit RN comprend trois boucles de refroidissement pour refroidir les échangeurs de chaleur du circuit de refroidissement intermédiaire CC. Chaque boucle RN a un jeu de 2 tours de refroidissement à tirage forcé. Pour compenser la perte d'eau des tours de refroidissement, de l'eau doit être ajoutée au circuit RN. Il y a différentes possibilités pour cet ajout d'eau :

- L'eau supplémentaire de ces tours est habituellement fournie par la zone de prise d'eau de Doel 3 et Doel 4 via les pompes CW de Doel 3 et Doel 4.
- Depuis les bassins LU, le remplissage du circuit RN est assuré via le système CD.
- En plus des options de remplissage précédentes, il est également possible de remplir les tours de refroidissement RN par le système FE.

b) Mesures de conception de Doel 3 et Doel 4 : secours à partir des systèmes de second niveau

Si le système CC/RN devient également indisponible en plus de la source froide principale, le système de refroidissement d'ultime secours (système LU) peut fournir le refroidissement nécessaire pour amener les unités en état d'arrêt à froid et les maintenir dans cet état. Le système LU comprend trois trains indépendants qui sont alimentés automatiquement par les générateurs diesel de second niveau (KE) si les sources électriques externes sont perdues.

Dans chaque unité, l'eau de refroidissement est pompée depuis le bassin LU correspondant, envoyée directement aux réfrigérants (PL, SC, ...) et renvoyée au bassin LU.

Trois bassins LU artificiels indépendants sont prévus. Les bassins sont suffisamment éloignés des réacteurs pour qu'ils ne puissent pas être affectés simultanément par un accident externe. Doel 3 et Doel 4 ont leur propre bassin LU, avec une réserve d'eau de 30 000 m³. Le troisième bassin de refroidissement sert de réserve d'eau industrielle (IW) et, si nécessaire, de réserve commune pour les bassins de refroidissement de Doel 3 et Doel 4.

En tenant compte d'une capacité réservée pour le système FE (lutte contre l'incendie) et différentes pertes possibles, il reste assez d'eau dans les bassins LU pour assurer le fonctionnement correct des pompes LU pendant quelques semaines. La température du bassin reste également limitée à 50 °C grâce à l'inertie thermique et au système d'aspersion.

Aussi longtemps que les systèmes de premier niveau sont opérationnels, les systèmes de second niveau ne sont pas nécessaires. Les diesels de premier niveau sont refroidis par des aéro-réfrigérants et restent donc disponibles sans la source froide principale, sans CC/RN et sans LU. Les diesels de second niveau sont refroidis par le système LU et restent donc disponibles sans la source froide principale et sans CC/RN.

c) Autonomie de Doel 3 et Doel 4 avant endommagement du combustible

Générateurs de vapeur disponibles

Les tours de refroidissement RN de premier niveau assurent que tous les systèmes de sûreté de premier niveau restent refroidis.

Le refroidissement du cœur est assuré par refroidissement via les générateurs de vapeur et la transition subséquente vers le refroidissement par le SC. Le refroidissement via les générateurs de vapeur est assuré au premier niveau par le circuit d'eau alimentaire auxiliaire (AF). Au second niveau, le système EF (eau alimentaire d'ultime secours) dans le bâtiment d'ultime secours GNS peut être utilisé.

Il n'y a pas d'effets falaises pour ce scénario. Les bassins LU contiennent assez d'eau pour une autonomie d'au moins 26 jours. C'est largement assez pour pouvoir remplir les bassins LU.

Circuit primaire ouvert

Les tours de refroidissement RN de premier niveau assurent que tous les systèmes de sûreté de premier niveau restent refroidis.

Le cœur est refroidi via le circuit SC et le circuit CC qui est à son tour refroidi par les tours de refroidissement RN.

Il n'y a pas d'effets falaises pour ce scénario. Les bassins LU contiennent assez d'eau pour une autonomie d'au moins 26 jours. C'est largement assez pour pouvoir remplir les bassins LU.

Cœur dans les piscines de désactivation

Les tours de refroidissement RN de premier niveau assurent que les piscines d'entreposage de combustible usé restent refroidies.

Les piscines restent refroidies via le circuit PL et le circuit CC qui est à son tour refroidi par les tours de refroidissement RN.

Il n'y a pas d'effets falaises pour ce scénario. Les bassins LU contiennent assez d'eau pour une autonomie d'au moins 26 jours. C'est largement assez pour pouvoir remplir les bassins LU.

Plusieurs unités du site de Doel affectées

Si tout le site est affecté et que les réserves d'eau de Doel 1/2 sont épuisées, Doel 3 et Doel 4 doivent partager les bassins avec Doel 1/2. La réserve d'eau dans les bassins est suffisante pour alimenter Doel 1/2 en eau également. De plus, on dispose de plusieurs semaines pour remplir les bassins. Mais avant que cela ne se produise, les systèmes de second niveau de Doel 1/2 peuvent être mis en service. Ils reposent totalement sur des aéro-réfrigérants qui ne requièrent aucun remplissage.

5.2.1.2. Actions (externes) prévues pour prévenir l'endommagement du combustible

Centrale nucléaire de Tihange

Comme décrit dans le paragraphe précédent, la perte de l'eau de Meuse est gérée de diverses manières selon les unités.

Les équipes de quart sont entraînées à 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. Il convient néanmoins de noter qu'en cas de rupture d'une porte du barrage d'Ampsin-Neuville, le délai nécessaire pour obstruer 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 rétablir assez rapidement un niveau correct de la Meuse.

Centrale nucléaire de Doel

Cet incident fait partie de la base de conception des unités et est facilement contrôlé par les installations disponibles, les procédures d'exploitation standard et les équipes de quart.

5.2.1.3. Mesures pouvant être considérées pour augmenter la robustesse de la centrale

Centrale nucléaire de Tihange

La perte de l'eau de Meuse est intégrée dans la base de conception de chacune des trois unités – dans les trois configurations possibles : générateurs de vapeur disponibles, circuit primaire ouvert et cœur dans les piscines de désactivation – si une seule unité puise dans la nappe phréatique. Ce type d'accident ne nécessite pas de mesure supplémentaire.

En revanche, si les trois unités doivent puiser dans la nappe, il est nécessaire d'optimiser la consommation d'eau. Les méthodes pour limiter les prélèvements dans la nappe et déterminer le/les puit(s) à utiliser préférentiellement doivent être incluses dans des procédures et/ou dans la stratégie de gestion d'un accident « multi-unités ».

Centrale nucléaire de Doel

Cet incident fait partie de la base de conception des unités et peut facilement être contrôlé avec les systèmes disponibles, les procédures d'exploitation standard et les équipes de quart. Aucune modification au matériel, aucune nouvelle procédure ni aucune mesure organisationnelle n'est requise.

5.2.2. Perte des sources froides principale et alternative(s)

Centrale nucléaire de Tihange

La perte simultanée des sources froides principale et alternative n'est pas intégrée dans les bases de conception des unités de Tihange. Néanmoins, l'analyse reprise ci-dessous montre que le site dispose de moyens d'ultime 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.

Centrale nucléaire de Doel

À Doel, il y a deux sources froides alternatives dans chaque unité. Il est démontré que les unités sont conçues pour supporter la perte d'un des deux systèmes. La perte des deux systèmes simultanément est hautement improbable et ne fait donc pas partie de la base de conception. Dans quelques cas spécifiques, cela signifie qu'il faudra s'appuyer sur des moyens non conventionnels.

5.2.2.1. Autonomie du site avant endommagement du combustible

Centrale nucléaire de Tihange

Par conception, le site a diversifié ses sources froides de façon à réduire le risque de leur perte simultanée. En conséquence, la perte totale de la source froide principale (la Meuse) et de la source froide alternative (la nappe phréatique) n'est pas incluse dans la base de conception des unités.

Ce scénario considère la perte successive ou simultanée :

- de l'eau du canal d'amenée provenant de la Meuse ;
- de l'eau des prises d'eau profonde dans le lit de la Meuse, installées pour Tihange 2 et Tihange 3 pour compenser une éventuelle baisse de niveau du fleuve ;
- de l'eau des puits de la nappe phréatique (chacune des trois unités dispose de plusieurs puits situés à différents endroits sur le site).

Les analyses ci-dessous considèrent le scénario le plus pénalisant – 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 supposent que chaque unité utilise ses propres réserves d'eau et d'équipements. En cas d'accident affectant moins de trois unités, des transferts d'eau sont toujours possibles après raccordement d'une unité aux autres unités, dans le but d'augmenter l'autonomie de la/des unité(s) affectée(s).

La perte complète des sources froides empêchera le fonctionnement continu des divers équipements de sûreté de premier et de second niveau (en particulier les générateurs diesel) faute de refroidissement – hormis ceux ne nécessitant pas un refroidissement par eau (comme le GDR par exemple, qui est refroidi à l'air), ou ceux qui sont autoréfrigérés.

La construction d'un nouveau circuit de production d'eau déminéralisée pour l'ensemble du site est en cours. Pour cette opération, des investigations ont révélé l'existence d'une nappe phréatique profonde sur le site de Tihange. 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 au moyen de flexibles. Les autonomies estimées ci-dessous ne prennent pas en compte cette nouvelle source d'eau.

Tihange 1

Générateurs de vapeur disponibles

Les générateurs de vapeur sont alimentés en eau par les pompes EAS autoréfrigérées qui puisent dans le réservoir EAS (120 m³). Sans appoint, l'autonomie du réservoir EAS serait limitée à 60 minutes. Toutefois, un appoint se déclenche automatiquement, grâce à une vanne à flotteur, lorsque l'eau atteint un niveau prédéfini.

Les volumes d'eau disponibles (1 120 m³) et l'inertie de l'eau présente dans les générateurs de vapeur permettent un refroidissement via les générateurs de vapeur pendant au moins 1,5 jour. Une réserve supplémentaire d'eau disponible dans les deux condenseurs pourrait également être utilisée (environ 320 m³). En cas d'urgence, cette eau pourrait être envoyée aux générateurs de vapeur.

Dans le cas où le refroidissement par les générateurs de vapeur est perdu et où aucune alternative n'est trouvée pour alimenter les générateurs de vapeur, il est possible de placer le circuit primaire en configuration « gavé ouvert » par injection directe d'eau borée et purge par les soupapes SEBIM du pressuriseur.

Etant donné la perte de toutes les sources froides, un effet falaise apparaît lors de la perte d'eau pour le refroidissement par les générateurs de vapeur (après environ 1,5 jour). Ce délai laisse suffisamment de temps pour mettre en œuvre des moyens alternatifs d'appoint disponibles sur le site.

En fait, il est possible d'ajouter de l'eau d'appoint via le système de lutte contre l'incendie en utilisant des moyens non conventionnels, dans ce cas une motopompe mobile puisant l'eau directement dans la Meuse. Grâce à ces moyens, cet effet falaise peut alors être évité.

Circuit primaire ouvert

Le principe « gavé ouvert » est utilisé pour le circuit primaire. La vapeur est libérée par un évent VBP vers la cheminée et ses systèmes de filtration.

Le délai d'action requis dépend de l'inventaire en eau dans le circuit primaire, y compris la piscine du réacteur. Sans appoint d'eau supplémentaire ou reprise du refroidissement, l'eau du B01Bi injectée vers le circuit primaire est évaporée en un peu plus de 5 jours. Une voie d'évacuation de la vapeur est prévue de façon à éviter la surpression du bâtiment réacteur. Si la vapeur dans le bâtiment réacteur n'est pas évacuée, et sans le recours à l'aspersion d'enceinte, la surpression risque d'endommager la structure de l'enceinte après 3 à 4 jours.

L'unité dispose également d'une réserve d'eau dans ses accumulateurs CIS qui pourrait être utilisée en fonction de leur contenu d'eau au moment de la perte des sources froides. Enfin, les réserves d'eau des réservoirs CAB pourraient également être utilisées.

L'effet falaise survient au moment où tous les réservoirs d'eau borée sont vides. Le réservoir B01Bi confère une autonomie bien au-delà de 72 heures. Cette autonomie couvre le délai d'arrivée d'équipements ou d'eau en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site. En plus des réserves disponibles dans d'autres réservoirs d'eau borée, une liaison extérieure est prévue pour un camion-citerne contenant du bore pour assurer l'appoint au B01Bi. Grâce à ces moyens, cet effet falaise peut alors être évité.

Cœur dans les piscines de désactivation

La piscine de désactivation n'est plus refroidie par les systèmes normaux. L'évaporation commence environ 10 heures après la perte des systèmes de refroidissement normaux.

Des moyens 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 4 jours après la perte du refroidissement normal (tube de transfert du combustible fermé).

Le refroidissement du combustible est maintenu par évaporation et appoint d'eau, qui peut être mis en place en quelques heures. A terme, l'accès sera rendu difficile par la présence de vapeur dans le bâtiment réacteur. Aussi, toute opération éventuelle dans le bâtiment doit être réalisée aussitôt que possible. Des procédures seront établies pour la gestion des piscines dans ce type de scénario. La mise en place de mesures de niveau supplémentaires dans les piscines de désactivation est également à l'étude.

La situation à éviter est le découverture des assemblages (effet falaise). Le temps de mise en œuvre de l'appoint en eau est compatible avec les délais susmentionnés. Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Tihange 2 et Tihange 3

Générateurs de vapeur disponibles

Les générateurs de vapeur peuvent être alimentés par les pompes EAA autoréfrigérées qui puisent dans le réservoir EAA (capacité totale de 690 m³ pour Tihange 2 et de 800 m³ pour Tihange 3).

Lorsque ce réservoir est vide, le contenu des réservoirs suivants peut être envoyé vers les générateurs de vapeur :

- EDN B06 : capacité de 800 m³ à Tihange 2 et EDN B05 : capacité de 800 m³ à Tihange 3 ;
- EDN B07 : capacité de 300 m³ à Tihange 2 et EDN B07 : capacité de 500 m³ à Tihange 3 ;
- Condenseur : contenu moyen de 170 m³ à Tihange 2 et de 350 m³ à Tihange 3 ;
- PED B01 : contenu moyen de 110 m³ à Tihange 2 et PED B03 : contenu moyen de 110 m³ à Tihange 3.

Les volumes d'eau disponibles (2 166 m³ pour Tihange 2 et 2 523 m³ pour Tihange 3) et l'inertie de l'eau qui se trouve dans les générateurs de vapeur permettent un refroidissement via les générateurs de vapeur pendant au moins 3,5 jours à Tihange 2 et 5 jours à Tihange 3. Si le refroidissement par les générateurs de vapeur est perdu et qu'on ne trouve pas d'alimentation alternative pour les générateurs de vapeur, il est possible de placer le circuit primaire en configuration « gavé ouvert » par injection directe d'eau borée et purge par les vannes de décharge du pressuriseur.

Etant donné la perte de toutes les sources froides, l'effet falaise apparaît lors de la perte d'eau pour le refroidissement par les générateurs de vapeur (après environ 3,5 jours à Tihange 2 et 5 jours à Tihange 3). Ce délai permet de mettre en œuvre des moyens alternatifs d'appoint disponibles sur le site. Cet effet falaise peut par conséquent être évité.

Circuit primaire ouvert

Le contenu des réservoirs CTP peut être injecté dans le circuit primaire en cas d'inventaire en eau réduit. Sans appoint d'eau supplémentaire ou reprise du refroidissement, l'eau des CTP injectée dans le circuit primaire s'évapore en un peu plus de 6 jours, que ce soit à Tihange 2 ou à Tihange 3. Une voie d'évacuation de la vapeur est prévue pour éviter la surpression dans le bâtiment réacteur. Si la vapeur dans le bâtiment réacteur n'est pas évacuée, et sans le recours à l'aspersion d'enceinte, la surpression risque d'endommager la structure de l'enceinte après 3 à 4 jours, à Tihange 2 comme à Tihange 3.

L'unité dispose également d'une réserve d'eau dans ses accumulateurs CIS qui pourrait être utilisée en fonction de leur contenu d'eau au moment de la perte des sources froides. Enfin, les réserves d'eau des réservoirs CAB et CUS (environ 450 m³) pourraient également être utilisées.

L'effet falaise survient au moment où tous les réservoirs d'eau borée sont vides. Seuls les réservoirs CTP donnent une autonomie bien au-delà de 72 heures, à Tihange 2 comme à Tihange 3. Cette autonomie couvre le délai nécessaire à l'arrivée d'équipements ou d'eau venant d'une autre unité et de l'extérieur du site. Cet effet falaise peut par conséquent être évité.

Cœur dans les piscines de désactivation

La piscine de désactivation n'est plus refroidie par les systèmes normaux. L'évaporation commence environ 8 heures après la perte des systèmes de refroidissement normaux.

Des moyens non conventionnels peuvent être déployés pour assurer un appoint d'eau en quelques heures, c'est-à-dire bien avant que les assemblages ne commencent à être découverts, ce qui, en théorie, se produit 2 jours après la perte du refroidissement normal à Tihange 2 et après 3 jours à Tihange 3 (tube de transfert de combustible fermé).

Le refroidissement du combustible est maintenu par évaporation et appoint d'eau, qui peut être mis en place en quelques heures. A terme, l'accès sera rendu difficile par la présence de vapeur dans le bâtiment réacteur. Aussi, toute opération éventuelle dans le bâtiment doit être réalisée aussitôt que possible. Des procédures seront établies pour la gestion des piscines dans ce type de scénario. La mise en place de mesures de niveau supplémentaires dans les piscines de désactivation est également à l'étude.

La situation à éviter est le découvrément des assemblages (effet falaise). Le temps de mise en œuvre de l'appoint en eau est compatible avec les délais susmentionnés. Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Piscines de désactivation DE

Dans ce scénario, les piscines de désactivation dans le bâtiment DE ne sont pas refroidies par les systèmes normaux. 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 combustibles (au moins 3 semaines). Une évacuation de la vapeur est également prévue.

Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Plusieurs unités du site de Tihange affectées

L'analyse ci-dessus a été réalisée pour chacune des unités de Tihange indépendamment. Si plusieurs unités sont affectées en même temps, il n'y aura pas de contraintes supplémentaires dans la mesure où, à court terme, chaque unité utilise ses propres moyens et ses propres réserves.

Centrale nucléaire de Doel

Deux sources froides alternatives sont disponibles à Doel 1/2 et à Doel 3 et Doel 4. Le scénario est donc divisé en deux étapes.

Doel 1/2 Étape 1 : perte de CW (source froide principale) + RW (première source froide alternative)

Les unités Doel 1/2 sont conçues pour supporter indépendamment une perte totale de la première source froide alternative (tours de refroidissement RW) grâce à la disponibilité des systèmes de second niveau dans le bâtiment d'ultime secours.

En cas de perte des tours de refroidissement RW (tours de refroidissement de premier niveau), le système CC deviendra indisponible. Il en résulte que plusieurs systèmes de sûreté de premier niveau perdront leur refroidissement.

Une perte totale de remplissage des tours de refroidissement RW est hautement improbable dans la mesure où plusieurs options de remplissage redondantes sont disponibles.

Générateurs de vapeur disponibles

Les pompes AFW et les systèmes de second niveau (bâtiment d'ultime secours GNS) assurent le refroidissement de l'unité et son maintien en arrêt à froid.

Dans ce scénario, les pompes AFW (autoréfrigérées) (2 motopompes et 1 turbopompe) restent disponibles pour alimenter les générateurs de vapeur depuis le réservoir AFW et les réservoirs MW. Les générateurs de vapeur peuvent également être alimentés par les pompes EF.

Il n'y a pas d'effets falaises pour ce scénario.

Circuit primaire ouvert

Les systèmes de second niveau (bâtiment d'ultime secours GNS) assurent le maintien de l'unité en arrêt à froid.

Avec le circuit primaire ouvert, le cœur est refroidi avec le système SC, qui est à son tour refroidi par le système CC. En cas de perte du système CC, le système EC est aligné pour reprendre cette fonction.

L'alignement du système EC sur le système SC prend 45 minutes au plus. Toutefois, si aucune eau n'est ajoutée, l'eau dans le réacteur commencera à bouillir sous une heure. Ce délai dépend du laps de temps entre l'arrêt et l'événement initiateur, du niveau d'eau dans le réacteur et de la possibilité d'augmenter le niveau d'eau. Aussi longtemps que le système EC n'est pas aligné sur le système SC, le niveau d'eau est maintenu par injection d'eau borée via deux pompes RJ.

Sous une heure, l'eau dans le réacteur commencera à bouillir. Cette eau continuera de bouillir jusqu'à la reprise du refroidissement par le système EC. Il y a des ressources suffisantes pour compenser l'eau évaporée. Le système EC peut continuer de fonctionner sans restriction.

Cœur dans les piscines de désactivation

Les systèmes de second niveau (bâtiment d'ultime secours GNS) maintiennent le refroidissement des piscines PL.

Le combustible nucléaire est refroidi par le système PL. Dans ce scénario, le système PL de premier niveau est réaligné sur les aéro-réfrigérants PL du bâtiment d'ultime secours. Dans l'intervalle, le combustible nucléaire restera refroidi par l'eau dans les piscines PL. Cette eau ne commencera à bouillir qu'après 15 heures. Une fois que le système PL a été aligné sur le bâtiment d'ultime secours, il peut fonctionner sans limite de cette façon.

Le système PL est aligné manuellement sous 1,5 heure. C'est beaucoup plus court que les 15 heures disponibles. De plus, le système PL est un système fermé où il n'est pas nécessaire d'ajouter de l'eau.

Doel 1/2 Étape 2 : perte de CW (source froide principale) + RW (première source froide alternative) + aéro-réfrigérants du bâtiment d'ultime secours (seconde source froide alternative)

Les unités Doel 1/2 ne sont pas conçues pour supporter indépendamment la perte totale des deux sources froides alternatives. La perte totale simultanée des première et deuxième sources froides alternatives (CW+RW et aéro-réfrigérants du bâtiment d'ultime secours) est hautement improbable.

Le refroidissement du combustible nucléaire et le maintien de la sous-criticité peuvent néanmoins encore être assurés.

Générateurs de vapeur disponibles

Les réacteurs sont refroidis par les systèmes de premier niveau et de second niveau via les générateurs de vapeur. Dans ce scénario, les pompes AFW (autoréfrigérées) (2 motopompes et 1 turbopompe) sont disponibles pour alimenter les générateurs de vapeur.

Comme le système SC ne peut pas être mis en service, cette condition doit être maintenue pour une période illimitée. De l'eau doit donc alimenter en permanence les générateurs de vapeur.

Les réserves d'eau de Doel 1/2 confèrent une autonomie de plus de 10 jours par unité. Avec le volume dans les bassins LU de Doel 3 et Doel 4, les générateurs de vapeur de Doel 1 et Doel 2 peuvent en principe être alimentés pendant quelques mois.

Il n'y a pas d'effets faibles pour ce scénario.

Circuit primaire ouvert

Dans ce scénario, l'eau dans les réacteurs commence à bouillir et l'eau évaporée est compensée par de l'eau fraîche. L'eau dans le réacteur commencera à bouillir sous une heure. Le niveau d'eau dans le réacteur est maintenu à un niveau suffisant par l'ajout d'eau borée via les 2 pompes RJ. En secours, le RWST peut également être drainé gravitairement pour alimenter le réacteur via le système SC.

Après une perte de toutes les sources froides, le bâtiment réacteur est fermé hermétiquement pour éviter que la vapeur formée ne soit libérée dans l'environnement. Il en résulte que la pression dans le bâtiment réacteur augmentera. La montée en pression peut être retardée en aspergeant de l'eau froide dans le bâtiment réacteur via le système SP.

La pression ultime du bâtiment réacteur sera atteinte au plus tôt après 3 jours. Entre-temps, la source froide de premier niveau (CC) ou de second niveau (EC) devrait être rétablie. Dans le cas contraire, le bâtiment du réacteur doit être évacué de façon contrôlée.

En raison de la présence de vapeur, l'accès au bâtiment réacteur deviendra vite difficile.

Cœur dans les piscines de désactivation

Dans ce scénario, l'eau dans la piscine de désactivation commence à bouillir et l'eau évaporée est compensée par de l'eau fraîche. Faire bouillir l'eau dans les piscines est une manière efficace d'évacuer la chaleur des éléments de combustible nucléaire.

Dans les 15 heures au plus tôt, l'eau va commencer à bouillir dans la piscine de désactivation. En raison de la présence de vapeur, l'accès aux piscines devient vite plus difficile. Pour cette raison, il est nécessaire de rendre l'approvisionnement en eau disponible avant que l'ébullition ne commence. Le temps disponible est amplement suffisant pour remplir les piscines de désactivation.

Il y a suffisamment de moyens et de temps disponibles pour garder les piscines PL remplies. Sans ce remplissage, il faudra encore 4,8 jours avant que le niveau de l'eau ait baissé jusqu'au sommet des éléments de combustible nucléaire.

Ensemble du site affecté

Si les unités Doel 3, Doel 4 et WAB sont également affectées, le refroidissement des réacteurs de Doel 1/2 reste assuré. Dans ce cas, Doel 1/2 partage l'eau des bassins LU avec Doel 3 et Doel 4. En conséquence, l'autonomie offerte par ces bassins diminue un peu.

Cependant, cela n'induit pas d'effets faibles supplémentaires.

- Doel 1/2 a suffisamment de réserves d'eau (AFW, MW, EF) pour couvrir 10 jours. C'est un délai suffisant pour fournir une alimentation alternative en eau des générateurs de vapeur ou pour remplir les bassins LU partagés avec Doel 3 et Doel 4 par des moyens externes.
- Si tout le site est affecté, l'eau borée disponible doit être partagée. Cependant, l'eau borée n'est nécessaire que dans le scénario « circuit primaire ouvert », et deux arrêts de tranche ne se produisent jamais simultanément sur le site.

Doel 3 et Doel 4 Étape 1 : perte de CW (source froide principale) + RN (première source froide alternative)

Les unités Doel 3 et Doel 4 sont conçues pour supporter indépendamment une perte totale de la première source froide alternative (tours de refroidissement RN) avec l'aide des systèmes de second niveau dans le bunker et l'alimentation en eau correspondante depuis les bassins LU.

Si les tours de refroidissement RN sont perdues, le système CC devient indisponible. Il en résulte que plusieurs systèmes de sûreté de premier niveau ne seront pas refroidis.

Une perte totale du remplissage des tours de refroidissement RN est hautement improbable, car il y a plusieurs options de remplissage redondantes.

Générateurs de vapeur disponibles

Les pompes AF et les systèmes de second niveau dans le bunker assurent le refroidissement de l'unité et son maintien en état d'arrêt à froid.

Dans ce scénario, le circuit primaire est refroidi avec les générateurs de vapeur à une température et à une pression qui ont diminué suffisamment pour mettre en service le refroidissement à l'arrêt (SC). Les pompes AF autoréfrigérées (motopompes et turbopompe) restent disponibles pour alimenter les générateurs de vapeur.

Il n'y a pas d'effets faibles pour ce scénario. L'autonomie des bassins LU est d'au moins 26 jours. C'est largement assez pour remplir le bassin par des moyens externes.

Circuit primaire ouvert

Les systèmes de second niveau (bunker) assurent le maintien de l'unité en état d'arrêt à froid. Le cœur est refroidi par le système SC. Après la perte du système CC, le système SC est refroidi par le système LU.

Le refroidissement via le système LU est rétabli sous une demi-heure au maximum. Si le refroidissement ne peut pas être rétabli, l'eau dans le réacteur commencera à bouillir sous une heure.

Le fonctionnement sur le système LU peut continuer pendant 26 jours. C'est largement assez pour remplir les bassins par des moyens externes.

Cœur dans les piscines de désactivation

Les systèmes de second niveau dans le bunker assurent le maintien du refroidissement des piscines PL.

La piscine de désactivation est refroidie avec le système PL. Après la perte du système CC, le système PL est refroidi par le système LU.

Le refroidissement des piscines via le système LU est rétabli sous une heure. C'est beaucoup plus court que les 8 à 10 heures disponibles. Une piscine de désactivation non refroidie ne commencera à bouillir qu'après 8 à 10 heures. Le fonctionnement sur le système LU peut continuer pendant 26 jours. C'est largement assez pour remplir les bassins par des moyens externes.

Ensemble du site affecté

Si les autres unités sont affectées également, le refroidissement des unités Doel 3 et Doel 4 demeure assuré. Doel 3 et Doel 4 n'utilisent pas les systèmes de Doel 1/2, à l'exception d'une option de secours dans le scénario « cœur dans les piscines de désactivation ». Si le système LU alimente également quelques systèmes de Doel 1/2 via le système FE, l'autonomie des bassins de refroidissement diminue également de quelques jours. En considérant le très haut niveau d'autonomie, il y a largement assez de temps pour remplir les bassins.

D'autres unités affectées ne créent pas d'effets faibles supplémentaires.

Doel 3 et Doel 4 Étape 2 : perte de CW (source froide principale) + RN (première source froide alternative) + alimentation en eau depuis les bassins LU (seconde source froide alternative)

Les unités Doel 3 et Doel 4 ne sont pas conçues pour supporter indépendamment la perte totale des deux sources froides alternatives.

La perte totale simultanée des première et deuxième sources froides alternatives est hautement improbable.

Le refroidissement du combustible nucléaire et le maintien de la sous-criticité peuvent néanmoins encore être assurés.

Générateurs de vapeur disponibles

Les réacteurs sont refroidis par les systèmes de premier niveau et de second niveau via les générateurs de vapeur. Dans ce scénario, les pompes AF (autoréfrigérées) (2 motopompes et 1 turbopompe) sont disponibles pour alimenter les générateurs de vapeur.

Comme le système SC ne peut pas être mis en service, cette condition doit être maintenue pour une période illimitée. De l'eau doit donc alimenter en permanence les générateurs de vapeur afin de garantir les fonctions de sûreté.

L'inventaire normal total en eau (5 280 m³) donne une autonomie de plus de 2 semaines. C'est largement assez pour amener de l'eau supplémentaire par des moyens externes.

Il n'y a pas d'effets faibles pour ce scénario.

Circuit primaire ouvert

Dans ce scénario, l'eau dans les réacteurs commence à bouillir et l'eau évaporée est compensée par de l'eau fraîche. Le niveau d'eau dans le réacteur est maintenu à un niveau suffisant par ajout d'eau borée via la pompe CV refroidie à l'air ou 2 pompes RJ.

En secours, le RWST peut également être drainé gravitairement pour alimenter le réacteur via le système SC.

Après une perte de toutes les sources froides, le bâtiment réacteur est fermé hermétiquement pour éviter que la vapeur formée ne soit libérée dans l'environnement. Il en résulte que la pression dans le bâtiment réacteur augmentera. La montée en pression peut être retardée en aspergeant de l'eau froide dans le bâtiment réacteur via le système SP. Après 24 heures, la pression maximale est 2,4 bars, ce qui est bien en-deçà de la pression de conception de 4,5 bars. La pression ultime du bâtiment réacteur sera atteinte au plus tôt après 3 jours. Entre-temps, la source froide de premier niveau (CC) ou de second niveau (LU) devrait être rétablie. Dans le cas contraire, le bâtiment du réacteur doit être éventé de façon contrôlée.

En raison de la présence de vapeur, l'accès au bâtiment réacteur deviendra vite difficile.

Cœur dans les piscines de désactivation

Dans ce scénario, l'eau dans la piscine de désactivation commence à bouillir et l'eau évaporée est compensée par de l'eau fraîche. Faire bouillir l'eau dans les piscines est une manière efficace d'évacuer la chaleur des éléments de combustible nucléaire.

Sous 8 heures (Doel 3) ou 10 heures (Doel 4) au plus tôt, l'eau de la piscine de désactivation commencera à bouillir. En raison de la présence de vapeur, l'accès aux piscines deviendra vite plus difficile. Pour cette raison, il est nécessaire de rendre l'approvisionnement en eau disponible avant que l'ébullition ne commence.

Il y a suffisamment de moyens et de temps disponibles pour garder les piscines PL remplies. Sans ce remplissage, il faudra encore 4 jours avant que le niveau de l'eau ait baissé jusqu'au sommet des éléments de combustible nucléaire.

Ensemble du site affecté

Si les autres unités sont également affectées, le refroidissement des réacteurs de Doel 3 et Doel 4 reste assuré. Doel 3 et Doel 4 n'ont pas besoin des systèmes de Doel 1/2 pour ce scénario, si ce n'est pour augmenter une autonomie déjà grande.

5.2.2.2. Actions (externes) prévues pour prévenir l'endommagement du combustible

Centrale nucléaire de Tihange

Comme exposé ci-dessus, la perte complète de la source froide empêchera le fonctionnement continu des divers équipements de sûreté de premier et de second niveau (en particulier les générateurs diesel) faute de refroidissement – hormis ceux ne nécessitant pas un refroidissement par eau, ou ceux qui sont autoréfrigérés.

Le plan d'urgence interne sera déclenché et, si nécessaire (par décision du responsable de la gestion de crise), le bureau d'étude pourrait également être mobilisé.

L'accident sera géré selon les procédures « accident » et « surveillance des fonctions critiques ». Dans le cas particulier du circuit primaire 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 ne tiennent pas compte de ce type de scénario. Les diverses procédures seront amendées pour prendre en compte les différents aspects mis en évidence pour ce type d'accident. De plus, une stratégie intégrée sera également mise en place pour la gestion de ce type d'accident hors conception.

Refroidissement des piscines de désactivation

Le refroidissement du combustible usé est réalisé par ébullition d'eau dans ces piscines. Un appoint est possible par les circuits conventionnels (CTP, EDN, CAB) ou non conventionnels, et peut être mis en place dans un laps de temps (moins d'une heure pour les moyens conventionnels et de l'ordre de quelques heures pour les moyens non conventionnels) plus court que le délai de découverture des assemblages combustibles (plusieurs jours).

Refroidissement des piscines d'entreposage à long terme (bâtiment DE)

Le combustible usé dans le DE est refroidi par ébullition de l'eau contenue dans les piscines, ce qui confère un délai avant endommagement du combustible d'au moins 3 semaines sans appoint d'eau. Un appoint est possible dans ce délai par les circuits conventionnels (STP, SDN, SAB, etc.) ou non conventionnels, et peut être mis en œuvre dans des délais inférieurs à une heure pour les moyens conventionnels et de l'ordre de quelques heures pour les moyens non conventionnels (temps indicatifs uniquement).

Moyens non conventionnels

Des moyens ultimes (non conventionnels) disponibles sur le site peuvent être déployés pour maintenir le refroidissement des piscines (CTP et DE).

Pour Tihange 1, il s'agit de l'alimentation en eau d'extinction d'incendie vers la piscine de désactivation. Cela peut être fait 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 du système d'eau d'extinction d'incendie peut être réalisée dans la Meuse par une pompe mobile immergée (disponible sur le site) et un appoint par camion-citerne via le système CMU.

Pour Tihange 2, il s'agit également de l'alimentation en eau du système d'extinction d'incendie qui peut être pressurisé par la pompe à incendie d'une autre unité non affectée, ou par une motopompe installée dans le lit de la Meuse. Ceci peut être fait depuis n'importe quel hydrant du système d'extinction d'incendie pour remplir les piscines de désactivation.

Pour Tihange 3, il s'agit de la réalimentation des piscines de désactivation et d'entreposage à long terme (DE) à partir des réservoirs d'effluents du circuit primaire.

Centrale nucléaire de Doel

A la prise d'eau de Doel 1/2 dans l'Escaut, un quai de chargement est prévu pour acheminer de l'eau depuis un bateau via le « pipeline Polaris » vers les unités Doel 1/2. Il n'y a pas de contrats pour fournir l'eau dans la mesure où il y a assez d'alimentations en eau sur le site.

Vu l'improbabilité de ce scénario, l'utilisation de moyens externes hors site n'est pas prise en considération.

5.2.2.3. Mesures pouvant être considérées pour augmenter la robustesse de la centrale

Centrale nucléaire de Tihange

Diversification des sources

La construction d'un nouveau circuit de production d'eau déminéralisée pour l'ensemble du site est en cours. Des investigations ont révélé l'existence d'une nappe profonde sur le site de Tihange. Trois puits ont été creusés dans cette nappe et équipés de pompes. La construction d'un nouveau circuit de production d'eau déminéralisée pour l'ensemble du site est en cours.

Trois puits profonds creusés dans ces zones ont permis d'atteindre un débit global d'environ 105 m³/h. Des essais de pompage de longue durée ont confirmé la capacité de cette nappe calcaire et démontré son indépendance vis-à-vis de la nappe phréatique.

Un branchement a déjà été installé sur ce nouveau système pour les moyens non conventionnels. Sa capacité dépasse les besoins en eau des générateurs de vapeur à long terme.

Modification ou création de procédures

Il est nécessaire de créer ou de modifier des procédures afin de :

- définir une stratégie intégrée pour cet accident (perte de toutes les sources froides) qui n'a pas été pris en compte à la conception (gestion de la pression dans le bâtiment en configuration « gavé ouvert », utilisation optimale des moyens disponibles, etc.) ;
- intégrer ces nouveaux scénarios dans les procédures existantes ;
- intégrer l'utilisation de la nouvelle installation d'eau déminéralisée pour la réalimentation des unités par des systèmes non conventionnels ou conventionnels.

Centrale nucléaire de Doel

Les unités sont en mesure de répondre à ce scénario. Aucun changement matériel n'est nécessaire. Les procédures requises sont prévues et peuvent être exécutées par les équipes de quart présentes.

5.3. Perte de la source froide principale, des alimentations électriques externes et de l'alimentation électrique interne de secours de premier niveau

Centrale nucléaire de Tihange

La perte de la source froide principale combinée à la perte des alimentations électriques externes et de l'alimentation électrique interne de premier niveau est prise en compte dans les bases de conception du site.

La source froide principale de la centrale nucléaire de Tihange est un bras artificiel de la Meuse. En cas de perte de l'accès au fleuve, les unités de Tihange utilisent une source alternative. La perte des alimentations externes et de l'alimentation électrique de secours de premier niveau (générateurs diesel de secours) empêchera l'utilisation des pompes de premier niveau qui puisent l'eau dans la source froide principale. La perte des alimentations électriques externes et interne du premier niveau mène donc implicitement à une perte de l'accès à la Meuse pour les pompes du premier niveau. L'analyse présentée ci-dessous montre que le site dispose des moyens d'ultime secours et d'une autonomie suffisants compatibles avec le délai requis pour rétablir une alimentation électrique externe ou pour se réapprovisionner de l'extérieur du site.

Centrale nucléaire de Doel

La perte de la source froide principale combinée à la perte des alimentations électriques externes et interne de premier niveau est prise en compte dans les bases de conception du site.

En cas de perte des alimentations externes combinée à la perte des générateurs diesel de secours de premier niveau, les pompes CW de Doel 1/2 et les pompes d'appoint des tours de refroidissement RN de Doel 3 et Doel 4 ne seront pas alimentées en électricité. La perte du réseau électrique externe associée à la perte des générateurs diesel de premier niveau implique donc toujours automatiquement la perte de la source froide principale.

Les conclusions du scénario précédent « Perte des alimentations électriques externes (LOOP) et perte des alimentations internes de secours de premier niveau (station black-out) » (§ 5.1.2) restent donc valables pour ce nouveau scénario.

5.3.1. Autonomie du site avant endommagement du combustible

Centrale nucléaire de Tihange

Ce scénario suppose la perte des alimentations électriques extérieures (lignes à très haute tension) et des générateurs diesel de secours de premier niveau (générateurs GDS et GDR), combinée à l'impossibilité d'accéder à l'eau de Meuse. Lorsque le premier niveau de protection sera perdu (sauf la TPA-EAA), il sera nécessaire de passer sur les systèmes d'ultime secours de second niveau.

Tihange 1

La source froide alternative sera l'eau de la nappe phréatique. Ce point a été discuté précédemment et les réserves disponibles sur l'unité permettront de couvrir le délai de mise en service de l'eau de nappe.

La situation de perte de l'eau de Meuse combinée à un station black-out est prise en compte dans la conception de Tihange 1. On a alors recours au système d'ultime repli (SUR) utilisant les procédures « Hors dimensionnement H3 » et « Utilisation des puits ».

La gestion de cet accident et l'autonomie du SUR sont identiques à ce qui est décrit au paragraphe 5.1.2.1.

Cœur dans les piscines 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 sous quelques heures, donc bien avant le découverture des assemblages de combustible usé (quelques jours).

Si 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 laps de temps permettent l'arrivée d'équipements ou d'un appoint d'eau venant d'une autre unité ou de l'extérieur du site.

Il n'y a donc pas d'effet falaise dans ce cas.

Tihange 2 et Tihange 3

Dans le premier cas, la source froide peut être soit les puits de nappe (autonomie limitée), soit la Meuse via les prises d'eau profondes (autonomie illimitée).

L'accident a pour résultat la perte des systèmes de secours de premier niveau – sauf la TPA-EAA, qui fonctionne jusqu'à ce que les réserves d'eau soient épuisées ou que les batteries soient vides (sans action extérieure). Par conception, il est fait appel aux systèmes d'ultime secours de second niveau, qui utilisent la source froide principale (Meuse) ou la source froide alternative (puits dans la nappe phréatique), et des générateurs diesel d'ultime secours (GDU). Ces systèmes permettent d'amener et de 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).

Cœur dans les piscines de désactivation

Le refroidissement des piscines CTP (Tihange 2 et Tihange 3) et des piscines DE (Tihange 3) est assuré par les moyens conventionnels via les échangeurs de ces circuits respectifs refroidis par l'eau de nappe (ou par l'eau de Meuse).

En cas de perte totale de la prise d'eau de Meuse (y compris la prise d'eau 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. Les piscines sont refroidies par les échangeurs CTP alimentés par l'eau de nappe.

Les systèmes du second 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 générateurs diesel d'ultime secours GDU, qui survient après au minimum une semaine. Cette autonomie permet la mise en place de moyens compensatoires. L'autonomie en eau de la source froide alternative est illimitée si les prises d'eau profonde dans le lit de la Meuse restent disponibles, et dure au moins 30 jours (une seule unité affectée) si elles sont perdues (autonomie de la nappe). Cette autonomie permet la mise en place de moyens compensatoires.

Plusieurs unités du site affectées

La gestion pour Tihange 1 est similaire au cas où seule Tihange 1 est affectée. La particularité sera l'utilisation partagée de la nappe phréatique.

La gestion pour Tihange 2 ou Tihange 3 est similaire au cas où seule Tihange 2 ou Tihange 3 est affectée. La particularité sera l'utilisation partagée de la nappe phréatique si la prise d'eau profonde dans le lit de la Meuse de l'unité 2 et/ou de l'unité 3 est (sont) indisponible(s).

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.

Cœur dans les piscines de désactivation

Dans le pire des cas, les piscines pourront être refroidies par appoint d'eau en utilisant des moyens non conventionnels (pompes mobiles, flexibles, générateurs diesel) présents sur le site. Ils peuvent être mis en œuvre sous quelques heures, soit avant l'expiration du délai avant endommagement du combustible qui est de plusieurs jours. Il sera alors nécessaire de préparer des voies d'évacuation de la vapeur.

Piscines de désactivation DE

Si plusieurs unités, dont Tihange 3, sont affectées par une perte totale de la prise d'eau de Meuse, les piscines de désactivation du bâtiment DE ne peuvent pas être refroidies par les circuits conventionnels (limitation de la source froide) à court terme. Des moyens non conventionnels (pompes, flexibles, générateurs diesel), déployés en quelques heures, peuvent fournir de l'eau d'appoint avant le

découvrement des assemblages de combustible usé (qui survient après au moins 3 semaines). L'évacuation de la vapeur est également prévue.

Centrale nucléaire de Doel

Pour ce scénario, l'autonomie est identique à celle décrite au paragraphe 5.1.2.4. La description de l'autonomie du site ne fait pas référence à des moyens utilisant l'eau de l'Escaut.

5.3.2. Actions (externes) prévues pour prévenir l'endommagement du combustible

Centrale nucléaire de Tihange

La perte de la source froide principale combinée à la perte des alimentations électriques externes et internes de premier niveau est prise en compte dans les bases de conception du site.

Le personnel impliqué dans la gestion de ce type d'accident reçoit les formations adéquates pour le recours au système d'ultime repli SUR (à Tihange 1) ou aux systèmes d'ultime secours de second niveau (à Tihange 2 et Tihange 3). Le plan interne d'urgence sera déclenché avec rappel des équipes d'astreinte comme décrit au Chapitre 6.

Aucune action ou équipement provenant de l'extérieur du site n'est nécessaire à court terme.

Centrale nucléaire de Doel

Les actions (externes) pour ce scénario sont identiques à l'autonomie décrite au paragraphe 5.1.2.5. La description des actions (externes) ne fait pas référence à des moyens utilisant l'eau de l'Escaut.

5.3.3. Dispositions pouvant être envisagées pour améliorer la robustesse des installations

Centrale nucléaire de Tihange

Les mesures qui peuvent être envisagées pour améliorer la robustesse des installations sont identiques à celles décrites au paragraphe 5.1.2.6.

Centrale nucléaire de Doel

Les mesures qui peuvent être envisagées pour améliorer la robustesse des installations sont identiques à celles décrites au paragraphe 5.1.2.6. La description des mesures ne fait pas référence à une mesure visant à rétablir la source froide principale.

5.4. Perte de la source froide principale combinée à un station black-out total

Centrale nucléaire de Tihange

La source froide principale de la centrale nucléaire de Tihange est un bras artificiel de la Meuse. En cas de perte de l'accès à la Meuse, les unités de Tihange utilisent une source froide alternative. Ce scénario hautement improbable combine le station black-out total avec la perte de la source froide principale. Un tel scénario ne fait pas partie des bases de conception des unités de Tihange. Les unités disposent toujours de l'eau de la nappe ou des prises d'eau profondes, mais elles ne peuvent plus l'utiliser faute d'alimentation électrique.

Les conclusions du scénario « Perte des alimentations électriques externes (LOOP) et perte de toutes les alimentations électriques de secours sur site (station black-out total) » (paragraphe 5.1.3) restent donc valables également pour ce scénario.

Centrale nucléaire de Doel

Dans le cas d'un station black-out total, les pompes CW de Doel 1/2 et les pompes d'appoint des tours de refroidissement RN de Doel 3 et Doel 4 ne seront pas alimentées en électricité. Pour cette raison, un station black-out total implique automatiquement la perte de la source froide principale.

Les conclusions du scénario « Perte des alimentations électriques externes (LOOP) et perte de toutes les alimentations électriques de secours sur site (station black-out total) » (paragraphe 5.1.3) restent également valables pour ce scénario.

5.5. Perte de la source froide principale combinée à la perte des alimentations électriques externes et à un séisme DBE

Dans ce scénario, on postule que, après le séisme de conception (DBE), le réseau électrique externe et la source froide principale ne sont plus disponibles.

En cas de perte des alimentations électriques externes, tous les systèmes de sûreté doivent être alimentés par les unités du site qui n'ont pas été arrêtées, les générateurs diesel se trouvant sur le site, les batteries et les turbopompes.

Dans ce scénario, les seuls équipements disponibles sont ceux qui ont été conçus pour résister à un DBE.

L'analyse reprise ci-dessous montre que le site dispose de moyens d'ultime secours et d'une autonomie suffisante pour la gestion de ce type d'accident durant le temps requis pour rétablir une alimentation électrique externe ou se réapprovisionner de l'extérieur.

5.5.1. Autonomie du site avant endommagement du combustible

Centrale nucléaire de Tihange

La résistance du barrage d'Ampsin-Neuville (situé en aval du site) en cas de séisme de conception (DBE) a été analysée. La principale conclusion est que sa fonction de rétention d'eau serait 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 systèmes de régulation du barrage d'Ampsin-Neuville. L'étude a été effectuée jusqu'au review level earthquake (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 réduction progressive est examiné ci-après.

Tihange 1

La perte graduelle d'aspiration par les pompes CEB (qui fait partie des bases de conception) est considérée. La perte simultanée des alimentations externes entraînera l'utilisation des générateurs diesel de secours de premier niveau (qui sont qualifiés au séisme).

Après réaligement, le système d'eau de nappe alimentera le circuit d'eau brute (CEB), qui puise normalement l'eau dans la Meuse. Cette alimentation en eau de secours du CEB permet de faire face aux conséquences de l'événement, quel que soit l'état de fonctionnement de l'unité au moment de l'accident (générateurs de vapeur disponibles, circuit primaire ouvert ou cœur dans les piscines de désactivation). En effet, ce système peut assurer le refroidissement des générateurs diesel de secours, l'alimentation en eau des générateurs de vapeur, le refroidissement du cœur par le système RRA et le refroidissement des piscines.

L'autonomie des générateurs diesel de secours 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 Tihange 3 utilisent les prises d'eau profonde dans la Meuse et ne nécessitent donc pas leurs puits CEB. Tihange 1 dispose alors de deux puits pendant au moins 30 jours. Ces délais permettent de couvrir le temps d'arrivée d'équipements d'une autre unité ou de l'extérieur du site. Il n'y a donc pas d'effet falaise.

Tihange 2 et Tihange 3

Ce scénario correspond à la perte graduelle d'aspiration des pompes CEB. Ce problème est traité en passant aux prises d'eau profonde de la Meuse. La perte simultanée des alimentations électriques externes conduira à utiliser les générateurs diesel de premier niveau.

Les prises d'eau profonde de la Meuse, qui restent disponibles en cas de rupture du barrage d'Ampsin-Neuville, peuvent être raccordées au circuit d'eau brute (CEB). Cette alimentation en eau de secours du CEB permet de gérer les conséquences de l'événement, quel que soit l'état de fonctionnement de l'unité au moment de l'accident (générateurs de vapeur disponibles, circuit primaire ouvert ou cœur dans les piscines de désactivation). En effet, ce système peut assurer le fonctionnement des systèmes

de sûreté de premier niveau : refroidissement des générateurs diesel de secours, alimentation des générateurs de vapeur, refroidissement du cœur par le circuit RRA et refroidissement des piscines.

Piscines de désactivation

Le refroidissement des piscines CTP et des piscines 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 de secours. Cette réalimentation implique un lignage électrique, réalisé bien avant l'ébullition des piscines, et donc largement avant l'expiration du délai avant endommagement du combustible (plusieurs jours).

L'autonomie des groupes diesel de secours 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 d'équipements 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.

Centrale nucléaire de Doel

Doel 1/2

Les unités Doel 1/2 sont conçues pour supporter indépendamment une perte totale des alimentations externes combinée à la perte de la source froide principale (en puissance). Cela est réalisé avec les systèmes d'ultime secours de second niveau. Tous les systèmes d'ultime secours de second niveau de Doel 1/2 sont entièrement dimensionnés pour résister à un séisme de conception (DBE).

À Doel 1/2, les systèmes suivants sont dimensionnés pour résister au DBE :

- tous les systèmes de second niveau dans le bâtiment d'ultime secours ;
- le circuit primaire (RC) ;
- le circuit de refroidissement à l'arrêt (SC) ;
- le circuit secondaire jusqu'à la première vanne d'isolement (FW/MS) ;
- le réservoir de stockage d'eau déminéralisée de 1 500 m³ (MW).

Après l'accident de Fukushima, une mise à niveau sismique des turbopompes AFW et de leurs réservoirs (petit réservoir de stockage – 100 m³) a été effectuée.

En cas de perte des alimentations électriques externes, les générateurs diesel de premier niveau et de second niveau restent prêts à démarrer.

Les quatre générateurs diesel de secours de premier niveau actuels ne sont pas dimensionnés au séisme DBE.

Générateurs de vapeur disponibles

Les systèmes de second niveau résistant aux séismes dans le bâtiment d'ultime secours assurent le refroidissement et le maintien en arrêt à froid des unités.

Toutes les fonctions de sûreté restent garanties.

La chaleur résiduelle est évacuée en utilisant le système EF de second niveau.

En outre, lorsque les générateurs diesel de premier niveau ne sont plus disponibles, la turbopompe AFW reste disponible pour remplir les générateurs de vapeur depuis le réservoir AFW.

Il n'y a pas d'effets falaises pour ce scénario.

Il y a assez d'alimentation en eau sur le site pour refroidir jusqu'à ce que l'on puisse passer au système EC pour refroidir le système SC. Alors, le circuit primaire est refroidi par le système SC et il n'y a plus besoin de nouvel apport d'eau.

Après environ 5 jours, les générateurs diesel de second niveau doivent être réapprovisionnés en carburant. C'est largement assez de temps pour obtenir du gazole d'autres lieux sur le site ou à l'extérieur du site.

Circuit primaire ouvert

Les systèmes de second niveau assurent le maintien en arrêt à froid des unités.

L'évacuation de la chaleur résiduelle du réacteur ouvert est réalisée à l'aide des pompes SC qui sont alimentées par les générateurs diesel de second niveau. Le refroidissement des pompes SC et des réfrigérants est repris par le système EC.

Si le refroidissement ne peut pas être rétabli, l'eau dans le réacteur commencera à bouillir sous une heure. Ce délai dépend du laps de temps entre l'arrêt et l'événement initiateur, du niveau d'eau dans le réacteur et de la possibilité d'augmenter le niveau d'eau.

Cette eau continuera de bouillir jusqu'à ce que le refroidissement par le système EC soit rétabli (après un maximum de 45 minutes). L'inventaire en eau est maintenu à un niveau suffisant en remplissant le circuit primaire, avec le système RJ ou par vidange gravitaire du RWST. Le fonctionnement sur le système EC peut continuer indéfiniment. Il n'y a pas besoin d'apport d'eau.

Après 5,5 jours, les générateurs diesel de second niveau doivent être réapprovisionnés en carburant. C'est largement assez de temps pour obtenir du gazole d'autres lieux sur le site ou à l'extérieur du site.

Cœur dans les piscines de désactivation

Les systèmes de second niveau assurent le maintien du refroidissement des piscines de désactivation.

Le système PL est aligné sur le bâtiment d'ultime secours sous 1,5 heure. Ceci est plus rapide que le temps disponible de 15 heures avant que l'ébullition ne commence.

Le système PL est un système fermé. Il n'y a pas besoin d'ajouter de l'eau.

Après 7 jours, les générateurs diesel de second niveau doivent être réapprovisionnés en carburant. C'est largement assez de temps pour obtenir du gazole d'autres lieux sur le site ou à l'extérieur du site.

Tout le site est affecté

Si les autres unités sont également affectées, le refroidissement des réacteurs de Doel 1/2 reste assuré.

L'alimentation depuis les bassins LU doit être partagée avec les autres unités affectées. L'alimentation (3 x 30 000 m³) est suffisamment grande.

Le fait que d'autres unités soient affectées n'induit pas d'effets faibles supplémentaires.

Doel 3 et Doel 4

Les unités Doel 3 et Doel 4 sont conçues pour supporter indépendamment une perte totale des alimentations externes combinée à une perte de la source froide principale. Les systèmes de secours de premier niveau et les systèmes d'ultime secours de second niveau à Doel 3 et Doel 4 sont tous entièrement conçus pour résister au séisme SSE.

Les conclusions du scénario « Perte des alimentations électriques externes (LOOP) » restent également valables pour ce scénario.

La perte du réseau extérieur va toujours de pair avec la perte de la source froide principale.

5.5.2. Actions (externes) prévues pour prévenir l'endommagement du combustible

Centrale nucléaire de Tihange

La perte de la source froide et des alimentations électriques externes suite à un séisme d'intensité comparable au DBE a été prise en considération dans la conception du site.

Ce type d'accident est géré par les équipes de quart en salle de commande et par les équipes d'astreinte. Le plan interne d'urgence décrit au Chapitre 6 sera activé (avec rappel des diverses équipes d'astreintes). Le site dispose de réserves suffisantes en gazole et en huile. De ce fait, il n'est pas nécessaire de prévoir des interventions externes à court terme.

Centrale nucléaire de Doel

ELIA est tenue de fournir du courant à la centrale nucléaire aussi vite que possible. Voir plus haut le paragraphe 5.1 pour la description des méthodes disponibles à cet effet et pour les temps de réparation correspondants.

A la prise d'eau de Doel 1/2 dans l'Escaut, un quai de chargement est prévu pour acheminer de l'eau depuis un bateau via le « pipeline Polaris » vers les unités Doel 1/2. Il n'y a pas de contrats pour fournir l'eau dans la mesure où il y a assez d'alimentations en eau sur le site.

5.6. Entreposage de combustible nucléaire usé

Centrale nucléaire de Tihange – Bâtiment DE

Comme déjà mentionné, les divers circuits et systèmes intervenant au niveau des piscines sont liés au fonctionnement de l'unité Tihange 3, et donc à l'état de cette dernière au moment de la survenue d'un éventuel accident. Par conséquent, par souci de compréhension, les analyses concernant les piscines de désactivation ont été décrites dans les paragraphes relatifs aux unités (spécifiquement Tihange 3).

Centrale nucléaire de Doel – Bâtiment SCG

L'entreposage du combustible nucléaire usé dans des conteneurs situés dans le bâtiment des conteneurs de combustible nucléaire SCG est entièrement passif. Il ne faut ni électricité ni source froide active pour refroidir les conteneurs.

Le combustible nucléaire est entreposé dans des conteneurs de transport résistant aux circonstances externes qui pourraient apparaître suite à un accident de la route. Le bâtiment d'entreposage associé au conteneur apporte une protection biologique et une évacuation de chaleur efficace en conditions normales.

La perte des alimentations électriques externes, la perte des générateurs diesel de premier niveau, la perte des générateurs diesel de second niveau, la perte de la source froide principale et la perte des sources froides alternatives n'ont aucun impact quelconque sur le refroidissement ou l'intégrité des conteneurs situés dans le SCG.

5.7. Synthèse des principaux résultats présentés par l'exploitant

Sur la base des informations présentées dans les rapports de l'exploitant et des renseignements complémentaires fournis par l'exploitant lors des réunions techniques et des inspections sur site, les principaux résultats concernant le thème du risque de perte des alimentations électriques et de perte de la source froide sont les suivants.

Scénarios

La définition des scénarios retenus ainsi que les différents états du réacteur mentionnés dans ces scénarios (générateurs de vapeur disponibles, circuit primaire ouvert et raccordé au système de refroidissement du réacteur à l'arrêt, cœur entièrement déchargé dans les piscines de désactivation) sont conformes aux spécifications des tests de résistance.

Compte tenu des :

- différents niveaux de systèmes de sûreté (systèmes de secours de premier niveau et systèmes d'ultime secours de second niveau) dans les centrales nucléaires belges,
- nombreuses sources froides, avec plusieurs manières de puiser l'eau : fleuve à proximité du site (l'Escaut pour Doel, la Meuse pour Tihange), bassins de refroidissement artificiels (Doel), et puits de nappe (Tihange),

les différents scénarios suivants ont été évalués :

1. perte des alimentations électriques externes (LOOP) ;
2. perte des alimentations électriques externes et de l'alimentation interne de premier niveau (station black-out) ;
3. perte des alimentations électriques externes et des alimentations internes de premier niveau et de second niveau (station black-out total) ;
4. perte de la source froide principale ;
5. perte des sources froides principale et alternatives ;
6. perte de la source froide principale, des alimentations électriques externes et de l'alimentation électrique interne de premier niveau ;
7. perte de la source froide principale, des alimentations électriques externes et des alimentations électriques internes de premier niveau et de second niveau ;
8. perte de la source froide principale et des alimentations électriques externes, combinée à un séisme DBE.

Des événements initiateurs (par exemple un séisme) et leurs conséquences sur les fonctions de sûreté ne sont pas systématiquement pris en considération dans la gestion des 7 premiers scénarios et dans la détermination de l'autonomie des équipements nécessaires pour faire face à ces scénarios. Par exemple, des réservoirs non sismiques (eau, gazole/huile) sont utilisés comme réserves additionnelles dans chaque scénario.

Cependant, l'impact des événements initiateurs inondation et séisme a déjà été évalué en détail aux chapitres précédents.

De plus, le dernier scénario (scénario 8) postule que, après un séisme de conception (DBE), le réseau électrique externe et la source froide principale ne sont plus disponibles. Dans ce scénario, les seuls équipements pris en compte dans l'évaluation sont ceux qui ont été dimensionnés pour résister à un DBE.

Plusieurs unités affectées sur le site

Pour chaque scénario, l'exploitant a d'abord évalué séparément l'impact sur chaque réacteur du site. L'impact simultané sur toutes les unités d'une centrale a également été examiné systématiquement par l'exploitant pour les différents scénarios (avec une attention particulière sur l'autonomie des différentes ressources dans le cas considéré).

Fonctions de sûreté

Les spécifications des tests de résistance exigent de l'exploitant qu'il identifie les moyens de maintenir les trois fonctions de sûreté fondamentales (refroidissement du combustible, contrôle de la réactivité, confinement de la radioactivité) et les fonctions de support (alimentation électrique, refroidissement par la source froide principale).

En ce qui concerne les trois fonctions de sûreté, le « refroidissement du combustible » est la fonction de sûreté la plus importante lorsqu'on traite des scénarios de perte des alimentations électriques et de perte de la source froide, et il a donc été examiné en détail. La fonction de sûreté « contrôle de la réactivité » ne pose pas de problème majeur dans la mesure où il n'y a pas d'apport supplémentaire d'eau pure dans le circuit primaire. La fonction de sûreté « confinement de la radioactivité » a été examinée en se concentrant sur l'aspect maintien de l'intégrité de l'enceinte de confinement.

La réévaluation a permis à l'exploitant d'identifier, pour certains scénarios, des opportunités d'amélioration. Un certain nombre d'améliorations matérielles supplémentaires (par exemple des moyens non conventionnels), ou des améliorations des procédures, ont été proposées par l'exploitant, parmi lesquelles certaines ont déjà été mises en œuvre.

Base de conception

Les différents scénarios sont couverts par la base de conception initiale, ou ont été réévalués lors de la première révision périodique de sûreté, ou constituent des scénarios « hors conception ».

- Base de conception initiale

Les scénarios de « Perte des alimentations électriques externes (LOOP) » et « Perte de la source froide principale (LUHS) » font partie des bases de conception initiales de toutes les unités belges. Le scénario « LUHS, LOOP et séisme DBE » fait partie des bases de conception initiales pour toutes les unités belges à l'exception de Doel 1/2.

Pour les quatre unités les plus récentes (Tihange 2 et Tihange 3, Doel 3 et Doel 4), les scénarios « Station black-out (SBO) » et « LUHS et SBO » ont également été considérés à la conception de ces unités. Un second niveau de protection appelé le « bunker » permet de faire face à ces situations. Tous les systèmes qui font partie du second niveau de protection (systèmes électriques et I&C classés, systèmes de fluides, etc.) sont physiquement et électriquement indépendants du premier niveau de protection. De plus, ces systèmes classés sont conformes aux exigences de sûreté telles que la redondance, l'indépendance, la qualification (par exemple séisme, crash aérien), les essais, etc.

- Base de conception réévaluée lors de la première révision périodique de sûreté

Sur les unités les plus anciennes (Tihange 1 et Doel 1/2), les scénarios « Station black-out (SBO) » et « LUHS et SBO », « LUHS, LOOP et séisme DBE » (uniquement pour Doel 1/2 à cause des aspects DBE) ne furent pas pris en compte lors de leur conception initiale.

Lors de la première révision périodique de sûreté de ces unités, un nouveau bâtiment avec un second niveau de protection a été ajouté pour les sources de refroidissement et les alimentations électriques. Ce second niveau de systèmes d'ultimes secours, appelé « SUR » (« Système d'Ultime Repli ») pour Tihange 1 et « GNS » (« Gebouw NoodSystemen ») pour Doel 1/2, est à même de faire face aux scénarios susmentionnés.

Cependant, les améliorations mises en œuvre dans ce cadre présentent certaines limites, dont voici les principales :

- Sur Doel 1/2 : le second niveau couvre uniquement les états de fonctionnement en puissance (et l'évacuation de la chaleur résiduelle des piscines de désactivation en conditions normales). Cette situation a été considérée comme acceptable à l'époque, vu que la durée des états de mise à l'arrêt du réacteur était limitée. Par conséquent, les systèmes de second niveau ne sont pas requis pour les états d'arrêt. Toutefois, il est clair que les générateurs diesel sont physiquement présents sur le site et qu'ils seraient utilisés s'ils ne sont pas en maintenance. De même, le système d'évacuation de la chaleur résiduelle a été conçu pour une charge thermique correspondant à 7 jours après l'arrêt du réacteur (incluant des marges), l'unité étant d'abord refroidie par les générateurs de vapeur pendant un certain temps. Depuis lors, des modifications procédurales et matérielles ont été mises en place afin de mieux gérer ce scénario.

Ce point a été identifié dans le cadre du projet « Long Term Operation » (« LTO ») de ces deux unités et donne lieu à un projet d'amélioration.

- Sur Tihange 1 : le second niveau n'est pas entièrement qualifié au séisme dès lors que ce risque devait être couvert par le premier niveau ; le second niveau permet de faire face à un SBO et à certaines agressions externes. De même, pour les états d'arrêt, les pompes RRA et CTP ne sont pas réalimentées par le second niveau.

- Hors conception

Les scénarios « SBO total », « Perte de la source froide principale et des sources froides alternatives », « Perte de la source froide principale et SBO total » sont considérés comme des situations hors conception pour toutes les unités belges.

Grâce à la présence d'un second niveau de protection indépendant du premier niveau de protection, les installations des unités belges sont robustes pour faire face à différents scénarios tels que « SBO », « LUHS », « LUHS et SBO », « LUHS, LOOP et séisme DBE ». Les unités les plus anciennes sont moins robustes mais l'exploitant a défini des actions visant à améliorer la situation.

5.7.1. Scénario « Perte des alimentations électriques externes (LOOP) »

Ce scénario a été étudié dans la base de conception initiale de toutes les unités belges. Cet accident est géré par les systèmes de sûreté de premier niveau (et, en cas de défaillance, par les systèmes d'ultime secours de second niveau – cf. scénario SBO). L'exploitant a évalué l'autonomie en gazole et en huile de lubrification pour les générateurs diesel requis par ces systèmes de secours et d'ultime secours.

L'autonomie étant suffisante pendant au moins 72 heures, il n'y a pas d'effet falaise. Cette autonomie couvre le temps d'arrivée de matériels ou d'eau en provenance d'une autre unité ou de l'extérieur du site.

L'exploitant envisage de modifier ou d'écrire des procédures en vue d'améliorer davantage l'autonomie des diesels :

- une procédure sera adaptée pour anticiper manuellement l'appoint d'huile et de gazole aux générateurs diesel ;
- une procédure sera établie pour définir les charges non essentielles à déconnecter des générateurs diesel de façon à minimiser la consommation de gazole.

5.7.2. Scénario « Station Black-Out (SBO) »

Ce scénario a été étudié dans la base de conception initiale des quatre unités belges les plus récentes (Tihange 2 et Tihange 3, Doel 3 et Doel 4) et lors de la première révision périodique de sûreté pour les unités les plus anciennes (Tihange 1 et Doel 1/2). Il n'y a pas d'effet falaise. Pour Tihange 1, un renforcement de la robustesse des installations est prévu pour le second niveau de protection (pour éviter le « gavé ouvert ») (voir deuxième puce ci-après).

La réévaluation par l'exploitant évoque à juste titre pour Tihange 1 une limitation liée à la conception actuelle de l'unité, à savoir l'impossibilité de raccorder le système RRA aux alimentations électriques d'ultime secours – situation pénalisante pour les configurations « circuit primaire ouvert ». La réponse envisagée est le « gavé ouvert » pour éviter que la situation ne se dégrade en un accident grave.

Sur Doel 1/2, comme expliqué précédemment, le second niveau peut pleinement faire face à ce scénario, mais uniquement lorsque l'unité est initialement en fonctionnement en puissance. Cet aspect n'est pas clairement présenté dans l'évaluation de l'exploitant. Cependant, des modifications procédurales et matérielles ont progressivement été mises en place et améliorent la gestion de ce scénario. D'autres améliorations sont attendues dans le cadre du projet « Long Term Operation » (« LTO »).

L'exploitant prévoit des analyses de modifications matérielles. La révision et la rédaction de procédures sont également prévues :

- la mise en œuvre d'un réapprovisionnement automatique de gazole au réservoir de gazole du DUR, depuis le réservoir CVA, va être étudiée (Tihange 1) ;
- dans le cadre du projet LTO pour Tihange 1, des études seront menées pour analyser la possibilité d'alimenter les pompes de refroidissement du combustible usé et les pompes de refroidissement à l'arrêt par le système SUR (6 kV) ;
- les procédures SUR existantes seront révisées afin d'assurer un apport d'eau et une évacuation de la vapeur dans les piscines de désactivation (Tihange 1) ;
- une procédure sera établie pour définir les charges non essentielles à déconnecter des générateurs diesel de façon à minimiser la consommation de gazole.

5.7.3. Scénario « SBO total »

Ce scénario est un scénario hors conception pour toutes les unités belges. Pour éviter les effets falaises, l'exploitant a proposé un ensemble de mesures complémentaires.

Pour les états où les générateurs de vapeur sont disponibles, la gestion de ce scénario repose sur l'évacuation de la chaleur résiduelle via la turbopompe d'eau alimentaire auxiliaire et la décharge des générateurs de vapeur à l'atmosphère. Si ce processus est physiquement faisable, les aspects suivants doivent être soulignés :

- si l'unité n'est pas au départ dans un état de fonctionnement en puissance, le démarrage de la turbopompe demande une pression suffisante dans le circuit primaire. A Doel 1/2 par exemple, cette pression est relativement élevée (24 bars). Une augmentation de la pression et de la température n'est pas prévue dans les actions de gestion, qui comprennent une dépressurisation et une diminution rapide de la température afin de protéger les joints des pompes primaires en cas de perte d'injection vers ces joints. L'exploitant a confirmé sa stratégie dans ce cas de figure, à savoir augmenter temporairement la pression et la température pour permettre le démarrage de la turbopompe. En effet, les joints des pompes primaires sont supposés résister à une sollicitation temporaire (jugement d'ingénieurs fondé sur des résultats d'essais).
- les vannes de régulation de l'eau alimentaire auxiliaire et de la décharge à l'atmosphère peuvent être actionnées manuellement en local, après la perte du circuit d'air comprimé de régulation et/ou des batteries. Néanmoins, ces opérations sont effectuées dans des conditions d'accès difficiles et sans visibilité sur les résultats (pas d'indication du niveau du générateur de vapeur). Par conséquent, il y a un risque de surremplissage (ou d'assèchement) du générateur de vapeur.

Les principaux engagements de l'exploitant sont décrits ci-après :

- utilisation de moyens non conventionnels :
 - pour réalimenter les générateurs de vapeur et les piscines de désactivation,
 - pour assurer l'appoint au circuit primaire en configuration ouverte (pour Tihange 2 et Tihange 3),
 - pour éviter la surpression dans le bâtiment réacteur,
 - pour rétablir l'alimentation électrique des tableaux de contrôle commande, des moteurs, des vannes,
 - pour rendre utilisable le circuit d'air comprimé d'ultime secours ;
- étude de faisabilité pour augmenter la capacité du circuit d'eau alimentaire de secours (EAS) et pour ajouter un moteur d'eau alimentaire d'ultime secours (Tihange 1) ;
- étude de faisabilité pour pouvoir actionner manuellement de manière fiable les vannes de décharge à l'atmosphère des générateurs de vapeur (Tihange 1 et Tihange 3) ;
- rédaction d'une procédure spécifique « SBO total ».

5.7.4. Scénario « Perte de la source froide principale »

Ce scénario a été étudié dans la base de conception initiale de toutes les unités belges lorsqu'une seule unité d'un site est affectée par cet accident.

Il n'y a pas d'effet falaise. Cet accident est géré par les systèmes du second niveau de protection (puits de nappe pour Tihange et bassins de refroidissement pour Doel). Pour Tihange 2 et Tihange 3, les prises d'eau profonde d'ultime secours (2 par unité) puisent l'eau directement dans le lit de la Meuse. Selon les rapports de sûreté, ces prises d'eau d'ultime secours sont considérées comme une ligne supplémentaire de défense en profondeur pour ces unités.

Les puits de nappe ou les bassins de refroidissement permettent une autonomie de 30 jours (Tihange) ou de 26 jours (Doel) lorsqu'une unité du site est affectée par la perte de la source froide principale, conformément à la base de conception. Si toutes les unités de Doel sont affectées par la perte de la source froide principale (scénario hors conception), l'exploitant a confirmé que l'autonomie des bassins est suffisante. Si toutes les unités de Tihange sont affectées par la perte de la source froide principale, l'autonomie de l'eau de puits est de 3 semaines sans recours aux prises d'eau d'ultime secours (Tihange 2 et Tihange 3). Si ces prises d'eau sont disponibles, l'autonomie est illimitée pour Tihange 2 et Tihange 3 et est de 30 jours pour Tihange 1.

L'exploitant prévoit d'établir une nouvelle procédure pour gérer un accident multi-unités et pour optimiser la consommation d'eau du second niveau de protection (puits ou bassins).

5.7.5. Scénario « Perte des sources froides principale et alternatives »

Le scénario « Perte des sources froides principale et alternatives » n'a pas été étudié dans la base de conception initiale des unités belges.

Pour Tihange, il existe des effets falaises au moment de la perte de refroidissement des générateurs de vapeur lorsque les générateurs de vapeur sont disponibles, et au moment où tous les réservoirs d'eau borée sont vides lorsque le circuit primaire est ouvert. Dans ces cas, les délais pour aligner les équipements NCM (pompe mobile dans la Meuse pour remplir les générateurs de vapeur et camion-citerne avec eau borée pour remplir les réservoirs de stockage d'eau de réapprovisionnement - RWST) sont jugés suffisants par l'exploitant.

L'exploitant indique également qu'à court terme, l'autonomie en eau sera augmentée par un nouveau puits en nappe profonde entièrement indépendant des systèmes de puits existants. Cette nouvelle source d'eau a été découverte récemment et sera utilisée pour la production d'eau déminéralisée.

A Doel, des effets falaises similaires peuvent être évités en s'appuyant sur les circuits du site.

Les principaux engagements de l'exploitant sont décrits ci-après :

- utilisation de moyens non conventionnels :
 - pour réalimenter les générateurs de vapeur et les piscines de désactivation,
 - pour assurer l'appoint au circuit primaire en configuration ouverte (pour Tihange 2 et Tihange 3),
 - pour éviter la surpression dans le bâtiment réacteur ;
- établissement d'une procédure spécifique « Perte des sources froides principale et alternatives » ;
- renforcement à court terme de la robustesse de l'installation par un nouveau puits en nappe profonde. Ce nouveau puits indépendant des puits de nappe existants, pourrait constituer une source supplémentaire d'eau pour les 3 unités de Tihange.

5.7.6. Scénario « Perte de la source froide principale avec SBO »

Ce scénario a été pris en considération dans la base de conception des unités belges. Il n'y a pas d'effet falaise. Ce scénario est géré par les systèmes d'ultime secours de second niveau.

5.7.7. Scénario « Perte de la source froide principale avec SBO total »

Ce scénario est une situation hors conception pour toutes les unités belges. Pour éviter les effets falaises, l'exploitant a proposé un ensemble de mesures complémentaires.

5.7.8. Scénario « Perte de la source froide principale, LOOP et séisme DBE »

Ce scénario a été pris en considération dans la base de conception des unités belges. Il n'y a pas d'effet falaise. Ce scénario est géré par les systèmes du second niveau de protection sur les unités de Tihange et Doel 1/2, et par les systèmes des premier et second niveaux de protection sur Doel 3 et Doel 4.

Pour Doel 1/2, l'exploitant tient compte des pompes d'eau alimentaire auxiliaire et des réservoirs associés. De par leur conception, ces équipements ne sont pas qualifiés au séisme. Peu après l'accident de Fukushima, l'exploitant a décidé de mettre ces équipements à niveau et d'apporter des améliorations afin d'assurer leur disponibilité après un séisme.

5.7.9. Piscines de désactivation

Pour l'évaluation de la robustesse des piscines de désactivation, le scénario le plus pénalisant est un SBO total à la fin du déchargement du cœur (cœur entièrement déchargé et piscines de désactivation pleines).

Les piscines de désactivation peuvent être remplies par gravité depuis des réservoirs raccordés en permanence sur les piscines (réservoirs de stockage d'eau de réapprovisionnement, eau borée et eau déminéralisée) de l'unité. Les diverses alimentations en eau sur le site suffisent à assurer l'appoint requis à long terme. L'exploitant confirme que des moyens non conventionnels (camion-citerne ou pompes mobiles avec leur propre alimentation électrique puisant de l'eau dans la source froide principale ou dans les sources d'eau alternatives, système de protection incendie, etc.) peuvent être alignés en moins d'une heure. Des modifications matérielles sont envisagées pour le site de Doel (points de raccordement et canalisations rigides) pour accroître la robustesse des installations.

Les autonomies mentionnées dans les rapports finaux ne sont pas très détaillées. Des informations complémentaires ont été fournies par l'exploitant lors d'inspections spécifiques, permettant de conclure que ces autonomies sont compatibles avec les équipements de secours internes ou les équipements externes (moyens non conventionnels) qui seront installés pour remplir les piscines de désactivation.

5.8. Evaluation et conclusions de l'Autorité de sûreté

L'approche adoptée par l'exploitant pour réévaluer la gestion de la perte de courant électrique et la perte de la source froide est conforme à la méthodologie définie par l'exploitant et approuvée par l'Autorité de sûreté.

Grâce à la présence d'un second niveau de protection (systèmes d'ultime secours) complètement indépendant du premier niveau de protection (systèmes de secours), les installations des unités belges sont très robustes pour faire face aux différents scénarios. De plus, ces différents systèmes de secours et d'ultime secours sont diversifiés et répondent aux exigences de sûreté comme la redondance, l'indépendance, la qualification, les essais, etc.

En règle générale, l'exploitant doit garantir la disponibilité et le bon fonctionnement des différents dispositifs évoqués dans le cadre du programme des tests de résistance, y compris dans les scénarios hors conception :

- à travers les spécifications techniques qui indiquent pour tous les équipements de sûreté les exigences en termes de disponibilité, d'essais et de durée autorisée des arrêts. L'exploitant devrait revoir les spécifications techniques des centrales de façon à garantir une meilleure disponibilité des équipements d'ultime secours de second niveau. En particulier, les durées maximales d'arrêt autorisées et les délais de remise en service devraient être réévalués et justifiés étant donné les risques impliqués (voir également exigence 7 au paragraphe 6.7).
- par la prise en compte de conditions météorologiques défavorables. Certaines conditions météorologiques (vagues de chaleur ou de froid extrême) n'ont pas été prises en considération dans les spécifications des tests de résistance. Cependant, si ces événements ne sont pas à considérer comme des événements initiateurs, l'exploitant devra vérifier que les différents moyens mis sur pied pour gérer les scénarios d'accident peuvent effectivement être utilisés en pratique, que ce soit en hiver (les périodes de gel et de neige ne sont pas exceptionnelles en Belgique) ou en été (périodes de températures relativement élevées pendant plusieurs jours ou semaines).

Sur la base de l'évaluation des rapports de l'exploitant et des documents supports, des réunions techniques et des inspections sur site qui ont suivi, l'Autorité de sûreté considère que le plan d'action résultant est adéquat.

Toutefois, l'Autorité de sûreté a identifié des demandes et des recommandations complémentaires visant à renforcer plus encore la robustesse des unités belges :

1. Le caractère opérationnel des moyens non conventionnels devra être justifié sur la base de données techniques (conception, fonctionnement, alignement et raccordements, essais périodiques, maintenance préventive, etc.).
2. Les caractéristiques techniques des moyens non conventionnels (MNC) doivent prendre en compte les conditions (météorologiques) défavorables auxquelles ils peuvent être exposés pendant toute la durée d'utilisation.
3. L'exploitant devra, en collaboration avec ELIA, gestionnaire du réseau haute tension, mener une étude de faisabilité pour assurer une meilleure séparation géographique des lignes à haute tension (380 et 150 kV) afin d'améliorer davantage la fiabilité des alimentations électriques externes des centrales nucléaires. De plus, en accord avec ELIA, l'exploitant devrait s'assurer qu'en cas de LOOP, les centrales nucléaires ont la priorité absolue pour le rétablissement de leurs alimentations externes. L'Autorité de sûreté entreprendra les démarches nécessaires (en collaboration avec d'autres autorités compétentes) pour assurer la mise en oeuvre de cette recommandation.
4. En rapport avec le scénario « SBO total », le surremplissage ou l'assèchement potentiel des générateurs de vapeur suite à la perte d'air comprimé d'ultime secours devront être examinés.

5. En rapport avec le scénario « SBO total », la disponibilité de la turbopompe AFW en cas de perte de ventilation dans le local de la turbopompe devra être examinée.
6. En cas de station black-out (total), l'exploitant devra évaluer si toutes les pénétrations de l'enceinte peuvent être fermées à temps et si les systèmes d'isolement de l'enceinte demeurent fonctionnels, en particulier en phases d'arrêt du réacteur. La faisabilité de la fermeture des voies d'accès du personnel et du matériel doit être examinée. Ces sujets doivent être abordés dans la procédure « SBO total ».
7. L'exploitant devra justifier que la capacité en eau (quantité et débit d'eau de refroidissement jusqu'aux consommateurs) du second niveau de protection est suffisante quand toutes les unités du site sont affectées par la perte de la source froide principale. Si nécessaire, une stratégie d'optimisation de la consommation en eau devra être développée.
8. A Tihange, l'exploitant devra renforcer l'éclairage de secours dans les différents locaux et lieux où les opérateurs devraient intervenir pendant les différents scénarios.
9. En rapport avec le scénario de « Perte de la source froide principale », l'exploitant devra effectuer en 2012 des essais d'alignement et de fonctionnement sur les prises d'eau profondes de secours dans le lit de la Meuse (pour Tihange 2 et 3).
10. En rapport avec le scénario de « Perte de la source froide principale », l'exploitant devra justifier la disponibilité (accessibilité, caractère opérationnel et alignement) des prises d'eau de secours sur Tihange 2 et 3, conformément aux exigences du document US NRC RG 1.27.
11. Deux configurations devraient être évaluées par l'exploitant pour les piscines de désactivation :
 - Configuration avec manipulation dans la piscine du réacteur d'un assemblage de combustible lors d'un « SBO total ». L'assemblage de combustible devrait être manipulé manuellement jusqu'à une position sûre. L'exploitant devrait examiner les dispositions à mettre en oeuvre pour cette configuration (installations de hardware, procédures, éclairage, etc.).
 - Configuration avec perte de l'inventaire en eau des piscines de désactivation. Le retour d'expérience au niveau international a déjà mis en exergue des problèmes potentiels liés à la conception des casse-siphons en piscines de désactivation. En cas de rupture de tuyauterie, une capacité insuffisante des casse-siphons pourrait entraîner un découverture rapide des assemblages combustibles. L'exploitant devrait examiner ce problème de sûreté.

6. Gestion des accidents graves

Afin de produire un rapport national autoportant en vue du processus d'examen par les pairs à venir, les informations pertinentes présentées par l'exploitant dans ses rapports de tests de résistance sont d'abord rappelées.

A la fin de ce chapitre figure une section dans laquelle sont présentées l'évaluation et les conclusions de l'Autorité de sûreté belge (AFCN et Bel V).

6.1. Organisation et dispositions prises par l'exploitant pour gérer les accidents

6.1.1. Organisation de l'exploitant pour gérer l'accident

6.1.1.1. Dotation en personnel et gestion des rotations en période normale

Des équipes de quart assurent une présence continue sur le site. Elles sont toujours composées de la manière décrite dans le tableau ci-dessous et conformément aux exigences minimales du rapport de sûreté.

Tableau 14 : Composition minimale des équipes de quart selon l'état des unités

Unité	État de l'unité	Nombre d'agents dans l'équipe de quart
Tihange 1	En fonctionnement, arrêt à chaud ou arrêt intermédiaire	7
	Arrêt à froid	6
Tihange 2	En fonctionnement, arrêt à chaud ou arrêt intermédiaire	8
	Arrêt à froid	6
Tihange 3	En fonctionnement, arrêt à chaud ou arrêt intermédiaire	7
	Arrêt à froid	6
Doel 1/2	Doel 1 et Doel 2 en fonctionnement	9
	Doel 1 ou Doel 2 en arrêt à froid	9
	Doel 1 et Doel 2 en arrêt à froid	7
Doel 3 et Doel 4	Doel 3 et Doel 4 en conditions 1 (en fonctionnement) à 4 (arrêt intermédiaire)	13
	Doel 3 ou Doel 4 pas en conditions 1 (en fonctionnement) à 4 (arrêt intermédiaire)	9
	Doel 3 et Doel 4 pas en conditions 1 (en fonctionnement) à 4 (arrêt intermédiaire)	7

Les équipes de quart sont assistées par des agents de radioprotection, le service d'incendie et la sécurité physique du site.

La mission des équipes de quart consiste à prendre les premières mesures appropriées – 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 – en cas de survenance d'un événement quel qu'il soit. Elles peuvent s'appuyer à n'importe quel moment sur une équipe d'agents et de techniciens d'astreinte, aussi bien lors de l'opération normale de la centrale qu'en cas de problème. En cas d'urgence dans une unité, le plan interne d'urgence est activé. Il assure la mobilisation des ressources internes et externes nécessaires à la gestion de l'événement.

6.1.1.2. Mesures à prendre pour permettre une intervention optimale par le personnel

En cas d'accident nucléaire, l'équipe de quart, soutenue par les agents de radioprotection, le service d'incendie et le personnel de sécurité physique du site, tous présents sur le site, est chargée de traiter l'accident. L'équipe de quart se trouve dans la salle de conduite, d'où elle fait appel au personnel d'astreinte.

Les rôles du personnel d'astreinte sont définis dans l'organisation de planification d'urgence.

Il y a au moins cinq membres par équipe d'astreinte, qui restent en service pendant douze heures.

Le personnel d'astreinte sera présent dans un intervalle de temps défini à l'avance. En outre, des tests de disponibilité ont démontré que 80 % des autres personnels d'astreinte (non en service à ce moment) peut être présent dans un délai de 2 heures.

Le personnel d'astreinte occupera alors les différents centres d'intervention d'urgence.

Centrale nucléaire de Tihange

À Tihange, la gestion d'une urgence est assurée au départ de trois endroits distincts :

- la salle de commande de la tranche dans laquelle œuvrent les opérateurs de l'équipe de quart en situation normale et en situation accidentelle ;
- le « centre opérationnel de l'unité », appelé « COT » à Tihange (situé à côté de la salle de conduite et conçu selon les mêmes caractéristiques de résistance que la salle de conduite) dans lequel se réunit la première partie de l'équipe de gestion de crise et d'où est assurée la gestion technique de l'événement ;
- le « centre opérationnel de site », appelé « COS » à Tihange (géographiquement distant de la salle de conduite) dans lequel se réunit la seconde partie de l'équipe de crise et d'où sont gérées les communications et les relations avec l'extérieur.

La gestion initiale de la crise est assurée au départ de la salle de conduite de la tranche concernée. Dès que le plan interne d'urgence est activé, 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 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. L'équipe réunie au COT traite des aspects techniques, tandis que celle réunie au COS se concentre sur l'organisation et la communication (en particulier avec les autorités), ainsi que sur la prise de décisions stratégiques pour la gestion de la crise.

En outre, un centre d'accueil et de repli hors site appelé « CARA » est situé aux Awirs, à 12 km de la centrale nucléaire de Tihange. En cas d'urgence, le CARA assure les fonctions suivantes :

- centre d'urgence de repli hors site dans les situations où le centre opérationnel du site (COS) normal est inaccessible ; l'équipe d'urgence d'astreinte peut y gérer la crise en toute sécurité et de manière continue ;
- lieu de rassemblement et de briefing pour les équipes de quart et d'intervention juste avant qu'elles se rendent à la centrale ; des informations sur les aspects techniques et les mesures de protection à prendre y sont fournies au personnel de l'exploitant et des contractants ;
- lieu de décontamination pour le personnel, en cas de contamination importante de la centrale de Tihange qui rendrait impossible la décontamination du personnel sur le site ; après leur travail et avant de regagner leur domicile, les équipes de quart et d'intervention doivent retourner au CARA pour un débriefing ;
- une infrastructure est présente pour l'accueil des familles du personnel blessé ; les informations exclusivement réservées à ces familles sont données au centre CARA.

Centrale nucléaire de Doel

À Doel, la gestion d'une urgence est assurée au départ de quatre endroits distincts :

- dans la salle de conduite de la tranche, les opérateurs de l'équipe de quart travaillent en situation normale et en situation accidentelle ;

- la salle de commande annexe de la tranche (« BK »), située au même endroit que la salle de commande, est le centre nerveux de la gestion des accidents graves (« SAM ») ; c'est à partir de ce centre que les actions affectant les installations sont réalisées ;
- le centre de support technique sur site (« OTSC »), où sont préparées les interventions et les opérations dans les installations ainsi que les actions à long terme. L'OTSC de Doel 1/2 fait partie de la salle des machines de Doel 1/2 ; à cet endroit, les paramètres opérationnels les plus importants sont surveillés. L'OTSC de Doel 3 et de Doel 4 fait partie du Bâtiment Services électriques (« GEH ») de Doel 4 ; à cet endroit, les principaux paramètres d'état du cœur sont surveillés. L'OTSC de Doel 3 et de Doel 4 peut faire office de lieu de repli pour l'OTSC de Doel 1/2 ;
- l'installation des opérations de crise du site (« NPK ») permet la consolidation des données, la coordination de la communication avec les autorités et le calcul de la possible dissémination de la radioactivité dans l'environnement.

La disponibilité de toute l'infrastructure de gestion de crise est suivie par des plans de maintenance pour les deux sites.

Le personnel interne de la centrale nucléaire est impliqué dans les ressources du plan d'urgence interne.

L'ensemble du personnel de la centrale est progressivement impliqué :

- équipes de quart,
- cadres d'astreinte,
- techniciens d'astreinte (mécaniciens, électriciens, agents de radioprotection, ICT),
- équipes de première intervention,
- service de gardiennage et service médical,
- l'ensemble du personnel de la centrale, en fonction de ses compétences.

Des ressources supplémentaires peuvent également être mobilisées, y compris des unités d'intervention envoyées de l'autre centrale (Doel ou Tihange) et des membres de l'organisation de crise de la Direction d'Electrabel.

Les employés sous-traitants qui travaillent habituellement sur le site de la centrale ainsi que d'autres personnes qui ne sont pas liées à l'exploitant peuvent également être appelés. À ce propos, des conventions d'assistance et des contrats de collaboration ont été conclus avec plusieurs entreprises ou organismes.

Les ressources techniques disponibles sur les sites incluent :

- des garages des services d'incendie dotés d'équipements et de consommables pour la suppression d'une large gamme d'événements (incendie, explosion, inondation, rejet de produits dangereux) ;
- de l'équipement logistique : sacs de sable, compresseurs...
- des véhicules de surveillance totalement équipés pour réaliser des mesures radiologiques sur le site et hors site ;
- des réserves de lots d'équipements de protection individuelle ;
- des postes médicaux avec infirmerie et cabinet médical et équipés de zones de triage ;
- des zones d'atterrissage pour hélicoptères ;
- des gardes assurant la protection contre un accès non autorisé au site.

6.1.1.3. Recours au soutien technique extérieur pour la gestion des accidents

Lorsqu'un plan interne d'urgence est activé, l'encadrement d'astreinte informe officiellement les autorités publiques conformément au processus de notification d'urgence. Cette information est automatiquement orientée vers les permanences suivantes :

- Centre gouvernemental de coordination et de crise (CGCCR) ;
- Bel V ;
- Agence fédérale de Contrôle nucléaire (AFCN)

En fonction de la nature de l'événement, d'autres autorités telles que le bourgmestre local, le gouverneur de la province, la caserne de pompiers locale ou le ministère de l'Emploi, du Travail et de la Concertation sociale peuvent également être informées.

Organisation de crise des services centraux d'Electrabel

Afin d'apporter un support à une unité ou une centrale en crise, Electrabel a créé le Centre de management de crise production Belgique (CMCPB). Basé à Bruxelles, il est dirigé par un membre de la direction générale d'Electrabel.

Le centre de management de crise a pour mission de :

- soutenir la centrale avec des décisions stratégiques ;
- veiller à la disponibilité de ressources financières, matérielles et humaines supplémentaires ;
- assurer la communication externe et garantir la cohérence avec les actions de communication prises par la centrale ;
- mettre à disposition de la centrale des experts spécialisés dans des domaines spécifiques (assurances, droit, gestion des ressources humaines, maintenance, sûreté, etc.).

Ce centre est informé par le directeur de crise de la centrale durant le processus de notification. Suivant la nature de l'événement, le CMCPB mettra tout en œuvre pour apporter le support dont la centrale a besoin. La centrale peut aussi lui soumettre des questions et demandes spécifiques (besoin de matériel ou d'effectifs qualifiés, par exemple) afin d'alléger la gestion sur le site.

Conventions avec les hôpitaux

La centrale nucléaire de Tihange a signé des conventions avec cinq hôpitaux :

- CHR (Centre hospitalier régional) de Huy ;
- CHU (centre hospitalier universitaire) de Liège ;
- Institut de cancérologie à Bruxelles ;
- Centre des grands brûlés à Lovreval ;
- Hôpital des Armées françaises à Paris (Percy).

Ces conventions couvrent les soins médicaux aux blessés (contaminés ou non), au cas où un incident surviendrait à la centrale de Tihange.

La centrale nucléaire de Doel a signé des conventions avec deux hôpitaux :

- Hôpital Middelheim à Anvers, au sein duquel huit lits sont disponibles en permanence avec la possibilité d'évacuer l'hôpital afin de pouvoir l'utiliser à pleine capacité ;
- Hôpital des Armées françaises à Paris (Percy).

Convention d'assistance technique avec Tractebel Engineering

Tractebel Engineering apporte un support technique à l'exploitant afin :

- d'aider à porter un diagnostic ;
- de prédire comment l'évènement va évoluer ;
- de donner des recommandations et proposer des actions ;
- de répondre à ses questions.

Une cellule minimale est mise en place dans les 4 heures suivant l'appel de l'exploitant.

Support des sous-traitants et autres sociétés

De nombreuses entreprises extérieures travaillent quotidiennement sur les sites des centrales. Leurs personnels disposent de compétences spécifiques et d'une connaissance des installations qui peuvent être utiles en situation d'incident ou d'accident. L'équipe de gestion de crise s'appuie donc en priorité sur ces professionnels qui savent comment intervenir sur le site avant de faire appel à des sociétés qui ne connaissent pas les installations.

De plus, l'exploitant a conclu plusieurs contrats avec des sociétés extérieures pour des interventions ou des approvisionnements en équipement, incluant des clauses de rapidité en cas de demande à caractère d'urgence de la part de la centrale. Certains de ces services incluent :

- la fourniture et l'intervention sur le câblage électrique dans les 24 heures ;
- la fourniture de carburant pour les groupes diesel dans les 25 heures ;
- la décontamination de structures : 18 personnes dans les 2 heures et 45 personnes dans les 48 heures ;
- les échafaudages : 12 personnes (par roulement de 2 heures) dans les 24 heures ;
- les travaux et réparations mécaniques : une centaine de mécaniciens et une vingtaine de fraiseurs dans les 2 heures ;
- la fourniture de grues dans les 4 heures ;
- la fourniture d'acide borique dans les 15 jours ouvrables ;
- la réparation de l'instrumentation dans les 24 heures ;
- la fourniture de produits chimiques entre 12 et 48 heures (selon le produit) ;
- la réparation des moteurs électriques dans les 5 heures ;
- la réparation de la ventilation dans les 4 heures (un technicien) ;
- la fourniture de gaz industriels entre 6 et 12 heures (selon le gaz) ;
- la location de groupes électrogènes et de groupes de refroidissement : matériels standards dans les 24 heures (moins si disponibles dans le Benelux), matériel de ventilation du bâtiment réacteur dans les trois jours ;
- location d'engins de déblaiement à déploiement rapide, stationnés à proximité de la centrale afin d'assurer l'accès aux moyens nécessaires en situation de crise.

L'exploitant et ELIA (le gestionnaire des réseaux à haute et très haute tension) travaillent en collaboration effective en cas de problèmes affectant les réseaux électriques externes.

Support des institutions publiques

L'arrêté royal du 17 octobre 2003 stipule que le ministre de l'Intérieur, avec la collaboration de l'exploitant, peut mobiliser et déployer tous les moyens civils et militaires pour 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 un support technique aux centrales de Tihange et/ou de Doel :

- l'Institut scientifique de santé publique (« ISP ») ;
- l'Institut royal météorologique (« IRM ») ;
- le Centre d'étude de l'énergie nucléaire (« SCK-CEN ») ;
- l'Institut national des radioéléments (« IRE ») ;
- la Protection civile ;
- la police ;
- l'armée (la caserne d'Amay est à 8 km de la centrale de Tihange) ;
- le Service hydrologique du Service public de Wallonie (pour la centrale de Tihange) ;
- l'Observatoire royal de Belgique ;
- l'Université de Liège (ULg) et l'Université de Gand ;
- le service régional d'incendie de la ville de Huy (Tihange) et le service d'incendie de Beveren (Doel), situés à proximité des centrales ; Electrabel a signé des conventions spécifiques avec ces services d'incendie définissant les modalités en matière de formation, de communication, de commandement des interventions ainsi que les aspects dosimétriques.

Autres moyens

La société Transnubel peut affréter un bus avec chauffeur dans un délai court et peut fournir des moyens de transport de matériel ou de personnel.

En cas d'indisponibilité de certains moyens externes cités ci-dessus, la centrale possède en propre certains moyens comme des véhicules et remorques avec des dispositifs de mesure de radioprotection et des équipements de lutte contre l'incendie.

Un centre externe de soins/décontamination situé à Wachtebeke (situé à 45 km de la centrale de Doel) fournit l'infrastructure pour la détection et la décontamination des personnes et des véhicules, l'approvisionnement en nourriture et des places de couchage.

6.1.1.4. Procédures, formation et exercices

Procédures du Plan interne d'urgence

La procédure du plan interne d'urgence décrit la structure et l'organisation du plan interne d'urgence pour chaque centrale nucléaire.

Pour la centrale de Tihange, cette procédure et ses 58 procédures associées constituent l'ensemble du plan interne d'urgence. La centrale de Doel dispose de 28 procédures d'urgence directement liées au plan d'urgence et complétées de plusieurs autres procédures et documents (directives pratiques).

Toutes ces procédures liées aux accidents nucléaires sont régulièrement mises à jour.

Programmes de formation et exercices liés au plan interne d'urgence

Toutes les personnes impliquées dans le plan interne d'urgence reçoivent une formation initiale et un recyclage périodique en fonction de leur rôle. Les procédures de formation définissent pour chaque fonction ou rôle quels programmes de formation doivent être dispensés pour la préparation d'urgence. Ces formations incluent également des exercices périodiques.

Procédures de conduite des centrales

Les équipes de quart peuvent s'appuyer sur des procédures spécifiques de gestion des incidents et des accidents. Lorsqu'une anomalie survient dans les installations, l'équipe d'exploitation utilise en première instance un ensemble de procédures de gestion d'incident pour répondre à l'événement. Si celles-ci ne suffisent pas, les procédures de gestion d'accident sont mises en œuvre. Enfin, si certains critères sont remplis, ces procédures de gestion d'accident sont remplacées par des guides de gestion des accidents graves (« Severe accident management guidelines » ou « SAMG »).

Programmes de formation et exercices liés à la conduite des centrales

Des procédures décrivent les programmes de formation « métier » pour chaque département (équipes d'exploitation, maintenance). Toutes les personnes intervenant dans la conduite des installations (cadres, équipes de quart) reçoivent une formation initiale et un recyclage périodique en fonction de leur rôle. Chaque métier fait l'objet d'exercices réalisés annuellement.

En particulier, les opérateurs de salles de conduite, chefs de quart et cadres habilités suivent – deux semaines par an pour les opérateurs de salle de conduite et les chefs de quart et une semaine par an pour les cadres habilités – une formation sur le simulateur du centre de formation du site. Cet équipement simule des incidents ou accidents virtuels pour les aider à l'application des procédures adéquates.

Pour la centrale de Tihange, une formation de deux jours dédiée aux guides SAMG est dispensée aux agents de conduite, cadres habilités et cadres d'astreinte. Un recyclage doit être accompli tous les trois ans.

Pour la centrale de Doel, une formation d'un jour dédiée aux procédures BK est dispensée aux agents de conduite, cadres habilités et cadres d'astreinte. Un recyclage doit être accompli tous les cinq ans.

6.1.1.5. Projets destinés à renforcer l'organisation du site pour la gestion des accidents

Le personnel de la centrale nucléaire fait partie des ressources concernées par le plan interne d'urgence.

Une solution est en cours d'élaboration pour garantir la présence de personnel d'encadrement en nombre suffisant en cas d'événement multi-unités, qui requiert par nature une mobilisation constante de nombreux ingénieurs sur le site.

6.1.2. Possibilité d'utiliser les équipements existants

En cas d'accident grave, les moyens suivants sont indispensables :

- eau non borée pour injection dans les générateurs de vapeur ;
- eau borée pour injection dans le circuit primaire du bâtiment du réacteur ;
- électricité pour alimenter les pompes vitales.

Tous les moyens existants sur le site peuvent être utilisés de manière à restaurer les défaillances potentielles, par le biais de lignages particuliers si nécessaire. Les guides SAMG précisent comment utiliser les équipements existants.

En cas d'indisponibilité ou de défaillance de ces équipements, des moyens non conventionnels peuvent être mis en œuvre. Ces dispositifs n'étaient pas pris en compte lors de la conception des unités, mais sont disponibles sur site.

6.1.2.1. Dispositions pour utiliser les moyens mobiles (disponibilité de ces moyens, délai nécessaire pour les acheminer sur le site et les mettre en service)

Moyens mobiles existants

En cas d'évènement hors conception survenant sur le site de Tihange, il est possible d'utiliser des moyens non conventionnels (CMU) fixes ou mobiles, indépendants des équipements et installations mis en place à la conception, pour assurer les fonctions suivantes :

- alimentation en eau pour les piscines d'entreposage du combustible usé dans le bâtiment D des trois unités et dans le bâtiment DE de Tihange 3 ;
- alimentation en eau alimentaire à basse pression pour les générateurs de vapeur ;
- éclairage de secours ;
- déploiement des générateurs diesel pour alimenter les équipements nécessaires.

Des générateurs électriques mobiles sont également disponibles sur le site de Doel pour alimenter les redresseurs en utilisant des connecteurs et des câbles adaptés. Ils formeront un réseau de secours 380 V. Il sera ainsi possible de couvrir une période de « station black-out » plus longue avec maintien des mesures, signalisations et commandes. L'alimentation électrique des éléments de sûreté (compresseurs, vannes...) sera assurée de la même manière.

Doel 1/2 dispose également de générateurs électriques permettant une alimentation électrique complémentaire pour les pompes d'aspersion de l'enceinte de confinement.

La plupart de ces dispositifs mobiles est déjà disponibles dans les installations et n'exige que la connexion au gaz/électricité/eau – à l'aide des flexibles entreposés à proximité des endroits où ils sont utilisés – pour être démarrés.

Moyens mobiles (non conventionnels) futurs

A la suite des événements de Fukushima, une analyse systématique a été réalisée afin d'évaluer les besoins en moyens supplémentaires. Cette analyse a postulé une perte complète de courant alternatif et a pris en compte les différentes conditions initiales possibles des unités.

En conséquence, les équipements/dispositifs qui peuvent être mis en place pour limiter les conséquences d'une telle situation extrême ont été identifiés.

Le résultat de cette analyse se présente sous la forme d'une « ligne de temps » pour chaque unité, indiquant par ordre chronologique à quel moment une fonction essentielle n'est plus garantie sans le déploiement de moyens supplémentaires. Cette ligne de temps a permis à l'exploitant de définir des mesures palliatives pour compenser la perte des fonctions considérées. Elle a également permis de déterminer le moment auquel ces mesures palliatives doivent être opérationnelles et les caractéristiques nécessaires pour restaurer les fonctions.

Pour chaque dispositif, le délai entre la survenue de l'événement et la mise en route du dispositif, ainsi que sa capacité nécessaire, détermine s'il doit être installé en fixe prêt à démarrer, ou si un entreposage sur site peut suffire, voire même s'il est envisageable de remplir cette fonction par une assistance extérieure. Dans cette dernière hypothèse, il est considéré qu'une aide extérieure n'est crédible qu'après 72 heures (délai considéré comme suffisant pour organiser les accès au site et y amener des équipements lourds si nécessaire). Par ailleurs, les dispositifs non conventionnels doivent pouvoir fonctionner quel que soit l'état des autres unités du site. L'analyse a inclus des problématiques telles que l'alimentation électrique ou les stocks d'eau et de gazole nécessaires pour garantir cette autonomie et cette indépendance.

Ces moyens non conventionnels seront comparés à ceux définis dans les Extensive damage mitigation guidelines (EDMG) élaborées par le Nuclear Energy Institute afin de prendre en compte les situations qui ne seraient pas couvertes par l'hypothèse d'une perte totale des sources de courant alternatif. La mise en place de certains des dispositifs qui ont été identifiés et qui ne sont pas encore disponibles sur le site est en cours. D'autres dispositifs nécessitent une étude de justification/faisabilité. Ils seront mis en place dans des conditions garantissant une robustesse optimale contre les agressions externes extrêmes (naturelles ou non). Un lieu d'entreposage adéquat sera recherché pour les dispositifs mobiles. Les dispositifs fixes qui ont déjà été installés seront protégés contre ces agressions. S'ils ne sont pas suffisamment protégés à l'endroit où ils sont entreposés ou installés, les dispositifs devront être intrinsèquement résistants aux agressions considérées.

Une fois leur mise en place achevée, ces dispositifs seront intégrés aux procédures de gestion d'accidents et aux guides SAMG afin qu'ils puissent être utilisés correctement par les équipes d'intervention d'urgence.

Pour la centrale de Doel, les blocs d'éclairage de secours actuels seront remplacés par des blocs d'éclairage de secours à longue autonomie (LED). Des rampes d'éclairage mobiles supplémentaires seront également acquises.

6.1.2.2. Réserves et gestion des approvisionnements (gazole pour les générateurs diesel, eau, etc.)

Les spécifications techniques précisent les provisions minimales de gazole et d'acide borique requises pour maintenir les équipements de sûreté opérationnels en cas d'accident (hors accidents graves). Pour les moyens à mettre en œuvre dans le cadre du plan d'urgence, les provisions minimales et exigences de disponibilité sont indiquées et vérifiées par des procédures ad hoc.

À la centrale de Doel, une étude est menée afin de fournir les points de connexion nécessaires sur les réservoirs d'entreposage du gazole des différents réacteurs pour permettre le transfert du gazole entre les différents réservoirs. Un camion-citerne est disponible sur le site pour le transport du gazole à travers le site.

6.1.2.3. Gestion des rejets radioactifs, dispositions pour les limiter

En cas d'accident nucléaire, toute l'attention doit être concentrée sur :

- l'étanchéité du bâtiment réacteur ;
- l'abaissement de la pression dans le bâtiment réacteur au cas où celui-ci ne serait plus étanche aux fuites ;
- le dépôt de l'iode et des aérosols au moyen d'une aspersion suffisante ;
- l'inventaire en eau dans le bâtiment réacteur ;
- l'inventaire en eau dans les piscines de combustible usé.

Les rejets potentiels de produits radioactifs dans l'environnement sont limités par :

- l'activité spécifique maximale du circuit primaire en fonctionnement normal ;
- les débits de fuite admissibles pour le circuit primaire et les tubes des générateurs de vapeur ;
- les débits de fuite de l'enceinte de confinement.

Dimensionnement de l'enceinte de confinement du réacteur

Si de la radioactivité est libérée dans le bâtiment réacteur, l'enceinte de confinement et les systèmes associés garantiront que les gaz radioactifs restent dans le bâtiment réacteur, afin qu'aucune matière radioactive ne soit rejetée dans l'environnement. Tant que la radioactivité est maintenue dans l'enceinte de confinement, la décroissance radioactive joue un rôle important. Selon les isotopes concernés, le terme source peut déjà être réduit à une valeur de 5 à 25 % après une demi-journée de confinement.

Tous les réacteurs de Tihange et Doel sont dotés d'une structure à double enceinte.

Pour les trois unités de Tihange et les unités de Doel 3 et Doel 4, l'enceinte interne est construite en béton précontraint afin de résister à la pression, recouvert sur sa paroi intérieure d'un revêtement en acier au carbone peint assurant l'étanchéité. Pour les unités de Doel 1/2, l'enceinte interne est réalisée en acier garantissant l'étanchéité.

Pour toutes les unités, une enceinte externe indépendante en béton armé permet de collecter et filtrer les éventuelles fuites de l'enceinte interne.

La pression dans l'enceinte est surveillée par plusieurs instruments qualifiés (et secourus) de mesure de pression absolue. Certains d'entre eux sont utilisés pour mesurer des niveaux de pression correspondant aux niveaux en exploitation normale tandis que d'autres sont capables de suivre l'évolution de la pression jusqu'à 10 bars.

Un système d'aspersion est utilisé pour limiter les pics de pression dans l'enceinte résultant d'un accident de perte de réfrigérant primaire (APRP) ou de fuites du circuit secondaire, et par là même pour limiter le débit de fuite de l'enceinte vers l'espace annulaire.

La ventilation interne contribue également à réduire la pression dans le bâtiment du réacteur.

Le taux de fuite de l'enceinte de confinement vers l'espace annulaire est mesuré lors de chaque arrêt pour rechargement. Le taux de fuite de toutes les pénétrations de l'enceinte est vérifié de la même manière.

Des chaînes de mesure de la radioactivité sont réparties dans les différents bâtiments, y compris le bâtiment réacteur, afin de permettre une détection rapide en cas de fuite. Des chaînes de mesure surveillent aussi les rejets de radioactivité à la cheminée de la ventilation des bâtiments des auxiliaires nucléaires. Des procédures ont également été créées afin d'identifier 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 systèmes de ventilation équipés de dispositifs de filtration (filtres absolus et pièges à charbon actif). Des résistances chauffantes disposées à l'extraction limitent le taux d'humidité des gaz en dessous d'un certain niveau afin de garantir l'efficacité des batteries de filtration.

En outre, les unités Doel 1/2 disposent de compresseurs dans l'espace annulaire conçus pour forcer le retour de gaz dans l'enceinte de confinement interne, et ce faisant, conserver l'inventaire – à court terme – autant que possible dans le bâtiment réacteur.

Isolement de l'enceinte de confinement

Chaque pénétration traversant l'enceinte est équipée de deux organes d'isolement étanches placés en série, manoeuvrables depuis la salle de conduite. Ils se ferment automatiquement en cas de détection d'une anomalie nécessitant l'isolement de l'enceinte de l'environnement extérieur. En cas de défaillance de ces organes d'isolement, les procédures prévoient des actions correctrices afin de rétablir la situation.

Réduction de la contamination atmosphérique au sein du bâtiment réacteur

Le système de filtration du bâtiment réacteur se compose de filtres et de pièges à charbon actif et est situé dans l'enceinte interne. Son rôle est de capter les produits radioactifs atmosphériques et l'iode relâchés dans l'enceinte en cas d'accident.

Une aspersion à l'intérieur de l'enceinte permet également de capturer les particules radioactives et l'iode dans l'eau.

Pour les trois unités de Tihange ainsi que pour les unités de Doel 3 et Doel 4, il est possible d'ajouter une solution à base de soude caustique au liquide d'aspersion afin de mettre en solution l'iode plus efficacement puis de la capter dans l'eau du puisard du bâtiment réacteur. En 24 heures, le système d'aspersion de l'enceinte est capable de solubiliser et capturer jusqu'à 99 % des produits iodés présents dans le circuit primaire et susceptibles d'être rejetés dans l'enceinte.

Surveillance des fuites de l'enceinte interne

L'étanchéité de l'enceinte est surveillée périodiquement par des tests de pression. Ces tests sont réalisés à pression réduite au cours de chaque arrêt pour rechargement et tous les 10 ans à la pression de dimensionnement.

Autres dispositions

En cas d'accident de manutention du combustible durant le rechargement/déchargement, la détection d'une activité dans le 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.

En cas d'accident dans les piscines de combustible nucléaire – avec une couche d'eau de 10 m – le rejet d'iode et d'aérosols peut être limité à 0,2 % du terme source.

Les sous-sols des bâtiments des auxiliaires nucléaires de la centrale disposent d'importantes capacités de stockage des effluents liquides potentiels de sorte qu'un rejet potentiel vers l'environnement peut être différé autant que possible.

De plus, toutes les unités sont dotées de réservoirs de collecte et d'entreposage d'effluents et de systèmes de traitement destinés à limiter leur volume et activité.

Programmes de calcul et d'évaluation des rejets

Un programme spécifique peut être utilisé pour calculer et prévoir la dispersion des éventuels rejets radioactifs dans l'environnement. Des procédures SAMG décrivent la gestion appropriée des éventuels rejets.

6.1.2.4. Systèmes de communication et d'information (internes et externes)

Il existe une large gamme d'équipements et systèmes de communication variés et indépendants sur les deux sites pour assurer la communication minimale nécessaire en situations d'urgence.

Centrale nucléaire de Tihange

Communication interne

a) Le réseau téléphonique comprend des liaisons téléphoniques normales qui passent par le commutateur téléphonique de la centrale de Tihange (autonomie de 4 heures par batteries) et un réseau d'appel interne par pagiers via le réseau téléphonique normal. Seize « généphones » d'urgence – ne nécessitant pas d'alimentation électrique pour fonctionner – sont également installés dans les principaux lieux de regroupement du personnel ainsi qu'au COS et dans chaque COT. Ils sont utilisés en cas de défaillance des autres moyens de communication, en particulier du commutateur téléphonique.

b) Une ligne vidéo relie le centre opérationnel de tranche (COT) de chaque unité au centre opérationnel du site (COS). Cette ligne n'est pas connectée au commutateur téléphonique.

c) La centrale nucléaire dispose également d'un réseau de communication par haut-parleurs et d'une sirène d'urgence, tous deux alimentés par du courant secouru.

Communication externe

a) Le réseau téléphonique comprend :

- des liaisons normales : un commutateur téléphonique avec 2 x 30 lignes vers Huy et Amay ;
- deux lignes privées Electrabel qui relient la centrale à chacun des centres Electrabel de Linkebeek et Schaerbeek. Ces lignes passent par le commutateur téléphonique.
- des liaisons directes entre chacune des trois salles de conduite et le service régional d'incendie. Ces lignes ne sont pas connectées au commutateur téléphonique.
- 17 lignes Belgacom directes utilisées en situation de crise : 14 pour les COS/COT et 3 pour les salles de conduite. Ces lignes ne sont pas connectées au commutateur téléphonique.
- quelques lignes supplémentaires reliées au réseau Belgacom sans passer par le commutateur téléphonique. Le Directeur de la centrale ainsi que les chefs de département et les chefs de quart de chacune des unités disposent chacun d'une de ces lignes.

Les moyens d'appels externes de l'équipe de crise comprennent :

- un système de rappel automatique (ECOS) pour les cadres d'astreinte ;
- ces cadres d'astreinte peuvent être appelés via deux moyens redondants qui ne sont pas connectés au commutateur téléphonique : des pagers ASTRID (les messages peuvent être envoyés par une radio ASTRID via un réseau gouvernemental sécurisé) et des téléphones mobiles individuels (réseau Proximus).

Le système REGETEL de communication prioritaire avec les acteurs extérieurs impliqués dans le plan d'urgence est en cours d'installation à Tihange (COS).

Par ailleurs, d'autres téléphones mobiles et radios sont aussi disponibles sur le site pour la communication en interne et vers l'extérieur. Treize téléphones mobiles d'un autre opérateur (actuellement Mobistar) sont disponibles au COS (4) et dans chaque COT (3 par COT). Sept radios Astrid sont installées au COS (1), dans les véhicules de radioprotection (2), dans les salles des équipes de première intervention (3) et au centre CARA (1). Les téléphones portables Astrid sont compatibles avec le réseau de communication du service régional d'incendie et les pagers Astrid.

Enfin, la centrale de Tihange dispose encore de cinq téléphones satellitaires dans les cas extrêmes (indisponibilité de tous les moyens de communication précités).

b) Le réseau vidéo comprend :

- une ligne normale située au COS et reliée au commutateur téléphonique ;
- un canal reliant le COS au Centre gouvernemental de coordination et de crise (CGCCR).

Centrale nucléaire de Doel

Communication interne

a) La centrale de Doel dispose de son propre réseau téléphonique qui est complètement séparé du réseau public Belgacom. La partie du réseau située dans la centrale est entièrement alimentée par batteries et dispose d'une autonomie de 6 heures.

Les dispositifs suivants sont disponibles pour l'information des travailleurs sur le site :

- des messages importants de la salle de gestion de crise (« NPK ») peuvent être projetés sur les écrans de télévision des salles de réunion ;
- des interphones d'urgence peuvent également être utilisés pour connecter la salle de gestion de crise et les salles de réunion, les salles de conduite et les locaux de radioprotection des quatre unités, ainsi que le bâtiment d'accès et les postes de garde. Une connexion est également prévue avec les services médicaux. L'alimentation électrique de ce système est garantie ;
- un système de diffusion interne par haut-parleur équipé d'une sirène est également disponible.

Les bâtiments techniques de Doel 3 et Doel 4 sont équipés d'un système téléphonique autonome (généphones qui fonctionnent sans alimentation électrique ou batteries). Un système téléphonique GNS est disponible dans les bâtiments techniques de Doel 1/2.

b) Des téléphones cellulaires sont prévus dans le centre de gestion des urgences et les véhicules de surveillance pour certaines fonctions spécifiques du service de garde et pour les services d'urgence.

c) Des walkies-talkies à haute puissance sont également disponibles.

Communication externe

a) Plusieurs lignes téléphoniques directes et publiques – utilisant le réseau Belgacom – sont prévues pour le contact avec le monde extérieur. De manière à garantir la disponibilité des lignes téléphoniques internes et externes, le système de gestion d'interventions d'urgence (ERF) est utilisé. Ce système bloquera tous les appels téléphoniques sortants non nécessaires afin de garder les lignes disponibles.

Le réseau téléphonique comprend également :

- un téléphone REGETEL (indépendant du réseau Belgacom) pour le contact avec les autorités ;
- des téléphones cellulaires ; la couverture des téléphones cellulaires dans la salle de gestion de crise et les centres de support technique sur site est garantie ;
- un appareil ASTRID pour un contact direct avec les services d'incendie de Beveren ;
- 5 téléphones satellitaires qui peuvent être utilisés au cas où l'infrastructure de communication est indisponible.

Les membres d'astreinte qui ne sont pas présents sur le site peuvent être appelés par trois systèmes indépendants : téléphones publics, sémaphones (pagers ASTRID) et beepers.

L'appel est automatiquement passé par le système ECOS. Au cas où les appareils de communication habituelle seraient indisponibles, l'organisation de gestion de crise utilisera le système public de radiodiffusion pour les appeler.

Des lignes de fax Belgacom avec alimentation secourue sont également disponibles dans la salle de gestion de crise et dans les centres de support technique sur site.

b) Le réseau vidéo inclut un appareil de vidéoconférence situé dans la salle de gestion de crise pour la communication avec le centre national de crise et les services centraux d'Electrabel à Bruxelles. Le système de vidéoconférence peut également être utilisé pour communiquer avec le centre communal de crise de Beveren, le COS de la centrale nucléaire de Tihange et les centres de crise des provinces de Flandre orientale et d'Anvers.

c) Le système de transmission du plan d'urgence et un réseau émetteur-récepteur radio destiné en premier lieu à la communication avec les véhicules de surveillance radiologique.

6.1.3. Évaluation des facteurs pouvant perturber la gestion de l'accident et imprévus associés

6.1.3.1. Destruction importante d'infrastructures ou inondation autour de l'installation empêchant l'accès au site, y compris les systèmes de communication

La gestion interne des dégâts aux installations est assurée par l'organisation d'urgence en place.

Plusieurs bâtiments sur le site sont « bunkérisés » et peuvent être utilisés au cas où d'autres bâtiments sont détruits.

Le dégagement de l'infrastructure interne en cas d'obstacle majeur (pylônes renversés, trous dans la route, etc.) repose sur la disponibilité, à proximité immédiate du site, des moyens adaptés (engins de

dégagement, moyens de manutention lourde) utilisables aussi bien par le personnel interne que par du personnel externe à la centrale. Ces moyens sont disponibles via des contrats ou un support corporate.

L'infrastructure externe ne relève pas de la responsabilité de l'exploitant. Toutefois, le plan interne d'urgence comprend la coordination avec les autorités compétentes (ministères, gouverneur de la province, armée) qui entreprendra les mesures nécessaires pour rétablir un accès adéquat au site de la centrale.

Si la région de Tihange était affectée par des inondations, l'accès au site serait toujours possible par les routes publiques principales. En particulier, le réseau routier de Tihange se trouve à une altitude plus élevée que le niveau de crue maximal. La centrale est située à une altitude de 71,50 m alors que les alentours atteignent plus de 200 m. L'implantation de la centrale à proximité immédiate de la ville de Huy fait que le réseau routier est dense et permettra toujours un accès au site.

6.1.3.2. Détérioration de l'efficacité du travail dû à des débits de dose locaux élevés, à la contamination radioactive et à la destruction de certaines installations sur le site

Centrale nucléaire de Tihange

Situation actuelle

Afin d'assurer les opérations nécessaires à la gestion d'un accident grave, l'intervention est concentrée dans les lieux suivants : salle de conduite principale, salle de conduite d'urgence, centre opérationnel de tranche (COT), centre opérationnel de site (COS), autres localisations (exemples : locaux électriques du BAE ou locaux d'échantillonnage pour ce qui concerne les actions locales).

a) Zone habitable de chaque unité (salles de conduite, COT et locaux annexes)

En présence de contamination sur le site, des procédures existantes définissent 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 la contamination, de moyens de décontamination de base et d'une réserve d'équipements de protection. Ces dispositions visent à empêcher le transfert de contamination dans la « zone habitable » et à permettre au personnel qui la quitte de s'équiper selon les instructions données par les agents de radioprotection.

Concernant les autres localisations, les actions qui pourraient être lancées dans les premières heures d'une situation dégradée feront d'abord l'objet d'une analyse/évaluation en termes de dosimétrie/justification, en fonction des circonstances accidentelles.

Toute opération de réparation d'équipement et d'échantillonnage ne sera lancée qu'après une 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).

b) Centre opérationnel de site (COS)

Le COS est situé dans le bâtiment administratif du site, hors zone inondable, et sa « zone habitable » est pourvue de dispositifs de filtration de l'air extérieur. En présence de contamination sur le site, des 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 les réserves d'équipements de protection permettant au personnel quittant le COS de s'équiper selon les instructions données par les agents de radioprotection.

c) 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 gestion de crise seront autorisées à accéder au site en suivant les instructions données par les agents de radioprotection.

Conformément au plan interne d'urgence, 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 ».

Analyse de la robustesse de la situation existante vis-à-vis des événements initiateurs et des scénarios étudiés

a) Zone habitable de chaque unité (salles de conduite, COT et locaux associés)

La zone habitable de chaque unité est située dans un bâtiment résistant à des conditions externes dégradées (séisme et inondation en particulier), mais les systèmes de ventilation ne seront plus opérationnels en cas de station black-out. Une réalimentation par générateurs diesel autonomes est à l'étude.

b) Centre opérationnel de site (COS)

La localisation et la structure actuelle du bâtiment abritant le COS ne garantissent pas des conditions de fonctionnement optimales en cas de conditions externes extrêmes (séisme principalement). 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. A l'abri des inondations, résistant au séisme de conception (DBE), pourvu d'une infrastructure de décontamination, alimenté par un générateur électrogène autonome 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, un local de repli est prévu au centre de repli extérieur (CARA).

c) Centre de repli extérieur (CARA)

La « base arrière » actuelle CARA se trouve dans des locaux qui ne résisteraient pas à un séisme important. De plus, ils sont situés dans une zone inondable en cas de crue décennale. Enfin, ils sont situés dans la direction des vents dominants à 12 km du site nucléaire. Par conséquent, des solutions alternatives pour une autre base arrière seront analysées.

d) Adéquation de la surveillance radiologique en cas d'accident grave

Les COT et le COS sont équipés d'indicateurs et d'enregistreurs associés aux chaînes de mesures des voies de rejets d'effluents liquides et gazeux des trois unités. Un appareillage de base pour la mesure de la radioactivité est également mis à disposition dans ces locaux. Deux camionnettes, stationnées près du COS, sont également équipées pour mesurer la radioactivité sur le terrain.

En cas de contamination radioactive ou de débit de dose trop élevé, les portiques de contrôle radiologique en sortie de zone nucléaire d'une unité risquent de devenir inopérants. En conséquence, le contrôle pourrait être reporté au niveau des portiques installés au bâtiment des accès, à l'entrée du site. Toutefois, aucune surveillance de radioactivité ne sera opérationnelle si l'électricité est coupée.

Une analyse plus détaillée des moyens supplémentaires requis pour la surveillance radiologique en cas d'accident grave affectant plusieurs unités sera initiée.

e) Capacité 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, des équipements permettant 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.

Centrale nucléaire de Doel

Situation actuelle

Afin d'assurer les opérations nécessaires à la gestion d'un accident grave, l'intervention est concentrée dans les lieux suivants : salle de conduite principale, salle de conduite d'urgence, salle de conduite annexe, centres de support technique sur site (OTSC) et salle de gestion de crise sur site.

a) Zone habitable de chaque unité (salles de conduite, salles annexes)

En présence de contamination sur le site, des procédures existantes définissent 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 la contamination, de moyens de décontamination de base et d'une réserve d'équipements de protection. Ces dispositions visent à empêcher le transfert de contamination dans la « zone habitable » et à permettre au personnel qui la quitte de s'équiper selon les instructions données par les agents de radioprotection. Ces zones de vie sont équipées pour un long séjour, avec une cuisine avec provisions alimentaires et des équipements sanitaires (douches et toilettes).

b) Centres de support technique sur site (OTSC) et salle de gestion de crise sur site.

L'OTSC et la salle de gestion de crise du site sont équipés d'un vestiaire, de moyens de mesure de la contamination, de moyens de décontamination de base et d'une réserve d'équipements de protection. Ces dispositions visent à empêcher le transfert de contamination dans la « zone habitable » et à permettre au personnel qui la quitte de s'équiper selon les instructions données par les agents de radioprotection. Ces zones de vie sont équipées pour un long séjour, avec une cuisine avec provisions alimentaires et des équipements sanitaires (douches et toilettes).

c) Centre de soins externe

Un endroit est prévu dans la commune de Wachtebeke, située à 45 km du site, équipé comme centre de soins externe pour les travailleurs du site. Le domaine dispose du matériel d'intervention nécessaire pour la surveillance d'une possible contamination et la décontamination des véhicules et des personnes.

Analyse de la robustesse de la situation existante vis-à-vis des événements initiateurs et des scénarios étudiés

a) Zone habitable de chaque unité (salles de conduite, salles de conduite annexes)

Ces endroits sont hébergés dans des bâtiments résistants à des circonstances extrêmes, mais les systèmes de ventilation ne seront plus opérationnels en cas de station black-out.

b) OTSC et salle de gestion de crise du site

La salle de gestion de crise offre une bonne protection biologique (blindage), une protection contre la contamination interne et dispose d'une alimentation électrique garantie. Le bâtiment dans lequel la salle de gestion de crise est hébergée n'est pas antisismique. L'OTSC de Doel 3 et Doel 4 fonctionne comme salle de repli pour la salle de gestion de crise. L'OTSC de Doel 3 et Doel 4 possède les mêmes équipements de mesure et installations que la salle de dispatching du plan d'urgence, mais son blindage est moins performant.

c) Centre de repli extérieur

Un endroit doit être trouvé pour fonctionner comme centre de repli extérieur durant des urgences de mode « Haut » (voir plus loin). Le centre de formation Scaldis à Kallo pourrait être utilisé à cette fin.

d) Adéquation de la surveillance radiologique en cas d'accident grave

Les salles de conduite, les salles de conduite annexes, l'OTSC et la salle de gestion de crise sur site sont équipés d'indicateurs et d'enregistreurs associés aux chaînes de mesures des voies de rejets d'effluents liquides et gazeux. Un appareillage de base pour la mesure de la radioactivité et des niveaux de contamination est également mis à disposition dans ces locaux. Une camionnette de surveillance est disponible sur le site pour mesurer la radioactivité sur le terrain.

En cas de contamination radiologique ou de débit de dose trop élevé, les portiques de contrôle radiologique en sortie de zone nucléaire d'une unité risquent de devenir inopérants. En conséquence, le contrôle pourrait être reporté au niveau des portiques installés au bâtiment des accès, à l'entrée du site. Les portiques sont équipés d'une alimentation alternative en cas de perte de courant.

Une analyse plus détaillée des moyens supplémentaires requis pour la surveillance radiologique en cas d'accident grave affectant plusieurs unités sera initiée.

6.1.3.3. Faisabilité et efficacité des mesures de gestion des accidents 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 rapidement. Avant que cette organisation multi-unités soit en place, le personnel d'astreinte sera réparti selon les besoins des centres de coordination et l'équipe de crise sera complétée au fur et à mesure de la disponibilité des personnels.

Dans l'organisation du plan interne d'urgence, trois niveaux opérationnels sont définis :

- le mode « Standard », avec une seule unité concernée ; dans ce cas, l'organisation actuelle du plan interne d'urgence reste applicable ;
- le mode « Alerte », lorsqu'une situation de crise prévisible est susceptible d'affecter plusieurs unités (exemple : inondation de grande ampleur) ; dans ce cas, les cadres d'astreinte et certains supports techniques seront toujours prêts en attente sur le site ;
- le mode « Haut », lorsqu'une situation de crise non prévisible affecte soudainement plusieurs unités en même temps sur le même site (exemple : séisme).

L'organisation du plan interne d'urgence du site en mode « Haut » sera analysée et définie précisément.

Pour les premières 24 heures après la survenance d'un tel événement soudain (mode « Haut ») :

- la première phase de gestion de l'accident sera prise en charge par l'équipe de quart ainsi que le personnel d'astreinte. L'équipe de crise sera activée pour gérer la situation. Elle pourra faire appel à d'autres agents d'astreinte (non encore appelés dans le cadre du plan interne d'urgence). Ceux-ci entreront en action dès que possible ;
- la gestion technique de l'accident est assurée à partir du COT (centrale de Tihange) ou de la salle de conduite annexe (centrale de Doel) de chaque unité affectée. L'objectif est de renforcer les équipes d'astreinte pour assurer l'activation des mêmes fonctions de crise que si l'incident n'avait affecté que cette seule unité ;
- l'organisation de crise au COS (centrale de Tihange) et à la salle de gestion de crise du site (centrale de Doel) se concentre sur la communication, la gestion des préoccupations communes au site et la coordination logistique ;
- la structure du plan d'urgence Corporate sera élargie avec l'ajout d'un nouveau rôle de sûreté « agent de liaison » 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'extrême ampleur, y compris la mise en œuvre des moyens non conventionnels qui pourraient être appelés dans les premières 72 heures.

Après les premières 24 heures suivant un tel événement soudain (mode « Haut »), l'organisation de crise au niveau du site pourra compter sur un support élargi de la structure Corporate (CMCPB – Crisis Management Centre Production Belgium) dans les 24 heures au plus tard après son activation. Via le CMCPB, une structure d'organisation sera mise sur pied en fonction de la situation précise sur site et en fonction des événements qui s'y passent. Dans ces conditions, l'officier de liaison sera responsable de la communication entre le site concerné et la structure Corporate.

La structure d'organisation qui sera mise en place pour entreprendre la gestion de crise après les premières 24 heures satisfera aux principes suivants :

- un seul directeur de crise localisé sur site au COS (centrale de Tihange) et à la salle de gestion de crise du site (centrale de Doel) ;
- la gestion technique de chaque unité se fait au départ du COT (centrale de Tihange) et de la salle de conduite annexe (centrale de Doel) avec le support du personnel d'astreinte prévu ;
- les fonctions support sont remplies par la structure Corporate ;
- en cas de besoin de renforts sur le site, ceux-ci peuvent être fournis via la structure Corporate en fonction des besoins (experts par exemple).

Les fonctions de support que la structure Corporate peut remplir sont entre autres la logistique, l'assistance radiologique, les facteurs humains, la planification à long terme, les aspects communication...

Une 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 ses tâches le plus efficacement possible dans ces circonstances, les réévaluations suivantes seront lancées :

- l'adéquation des infrastructures actuelles, en particulier la « base arrière » ;
- les performances des moyens de communication, particulièrement pour la communication externe ;
- les logiciels de calcul des conséquences radiologiques.

6.1.3.4. 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 la conduite des installations.

6.1.3.5. Défaillance potentielle de l'instrumentation

Les procédures d'accident et d'accident grave sont basées sur un nombre limité de paramètres surveillés par une instrumentation classée. Durant la mise en œuvre des procédures d'accident et d'accident grave, 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. Une évaluation de la validité des paramètres fournis est réalisée pour s'assurer de l'absence de dysfonctionnement.

Dans l'hypothèse, hautement improbable, où toute l'instrumentation viendrait à être perdue, les actions nécessaires seraient évaluées et réalisées sur la base d'outils de calcul et d'abaques 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 niveaux de tension de 6 et 6,6 kV, 380 V, 115 VDC, 220 VAC.

En cas de perte de toutes les sources électriques internes (hautement improbable vu le nombre considérable de sources de secours), des procédures existent sur chaque tranche qui, par le biais d'appareils portables autonomes, permettent la détection et la mesure de 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 non conventionnels disponibles sur Tihange 2 et Tihange 3 permettent la réalimentation de l'instrumentation par un générateur électrogène autonome.

6.1.3.6. Effets potentiels des installations voisines sur le site, y compris l'éventualité d'une disponibilité restreinte de personnel formé pour traiter des accidents multi-unités étendus

Les agressions externes possibles ont été prises en compte dans la conception des unités. Un thème de la révision périodique de sûreté a examiné les risques pour une tranche liés à la présence d'autres unités du site ainsi que les dangers relatifs aux substances toxiques ; toutes les situations évaluées sont couvertes par les bases de conception.

6.2. Perte de refroidissement du cœur : mesures de gestion des accidents en place aux différents stades d'un scénario de perte de la fonction de refroidissement du cœur

Avant tout, la gestion d'un accident grave consiste à restaurer le refroidissement du combustible par tous les moyens disponibles, tout en surveillant 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 les rejets éventuels dans l'environnement et de stabiliser l'enceinte et le cœur.

6.2.1. Avant endommagement du combustible dans la cuve du réacteur

Centrale nucléaire de Tihange

Stratégie des procédures de gestion d'accident avant passage aux guides de gestion d'accident grave (SAMG)

Pour Tihange 1, la stratégie de réponse à une perte de refroidissement du circuit primaire est basée sur l'approche développée par Framatome (concepteur du circuit primaire de l'unité), via un jeu de procédures développées durant les années 1980 et revues 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 (système de refroidissement du réacteur à l'arrêt non connecté). La deuxième couvre les autres états : température du circuit primaire inférieure à 177°C, système de refroidissement du réacteur à l'arrêt connecté et circuit primaire fermé et éventé.

Pour Tihange 2 et Tihange 3, la stratégie est basée sur l'approche développée par Westinghouse par les procédures ERG (Emergency Response Guidelines) développées durant les années 1980 et revues régulièrement. Les procédures d'origine sont à présent mises à jour par le « WOG » (Westinghouse Owner Group).

Stratégie visant à éviter l'endommagement du cœur

Afin d'être en mesure de refroidir le combustible nucléaire à tout moment, la présence d'un fluide primaire de refroidissement et d'une source froide est requise :

- le fluide primaire de refroidissement peut être fourni via les systèmes d'injection de sécurité (haute et basse pression) ;
- la source froide peut être assurée comme suit : en utilisant les générateurs de vapeur pour souffler de la vapeur dans l'atmosphère par rejet de vapeur vers le condenseur ou vers la turbopompe d'eau alimentaire auxiliaire.

Stratégie visant à dépressuriser le circuit primaire

À Tihange 1, une pression trop élevée dans le circuit primaire réduit les possibilités d'appoint au circuit primaire dans la première phase de l'accident et complique la gestion de l'accident en général. Il est possible de réduire cette pression par les moyens suivants, en fonction de leur disponibilité : refroidissement du circuit primaire par les générateurs de vapeur, aspersion normale du pressuriseur si les pompes du circuit primaire sont opérationnelles, aspersion auxiliaire au moyen des pompes de charge, ouverture d'une des soupapes SEBIM sur le pressuriseur.

À Tihange 2 et Tihange 3, il est possible de réduire la pression par les moyens suivants, en fonction de leur disponibilité : refroidissement du circuit primaire par les générateurs de vapeur, aspersion normale

du pressuriseur si les pompes du circuit primaire sont opérationnelles, aspersion auxiliaire au moyen des pompes de charge, ouverture d'une des soupapes du pressuriseur, aspersion de second niveau par les pompes du circuit d'injection d'urgence (CIU).

Centrale nucléaire de Doel

Stratégie des procédures de gestion d'accident avant passage aux guides de gestion d'accident grave (SAMG)

Pour les unités de Doel, la stratégie est basée sur l'approche développée par Westinghouse via les procédures ERG (Emergency Response Guidelines) développées durant les années 1980 et revues régulièrement. Les procédures d'origine sont à présent mises à jour par le « WOG » (Westinghouse Owner Group).

Stratégie visant à éviter l'endommagement du cœur

Afin d'être en mesure de refroidir le combustible nucléaire à tout moment, la présence d'un fluide primaire de refroidissement et d'une source froide est requise :

- le fluide primaire de refroidissement peut être fourni par les systèmes d'injection de sécurité (haute et basse pression) ;
- la source froide peut être assurée comme suit : en utilisant les générateurs de vapeur pour souffler de la vapeur dans l'atmosphère par rejet de vapeur vers le condenseur ou vers la turbopompe eau alimentaire auxiliaire.

Stratégie visant à dépressuriser le circuit primaire

Une pression trop élevée dans le circuit primaire diminue les possibilités d'appoint au circuit primaire dans la première phase de l'accident et complique la gestion de l'accident en général. Il est possible de réduire cette pression par les moyens suivants, en fonction de leur disponibilité : refroidissement du circuit primaire par les générateurs de vapeur, aspersion normale du pressuriseur si les pompes du circuit primaire sont opérationnelles, aspersion auxiliaire au moyen des pompes de charge, ouverture des vannes de décharge du pressuriseur, aspersion de second niveau par les pompes du circuit d'injection d'urgence (systèmes RJ ou EA).

6.2.2. Après endommagement du combustible dans la cuve du réacteur

Centrale nucléaire de Tihange

Si les procédures destinées à prévenir l'endommagement du cœur décrites précédemment ne permettent toujours pas de faire face à l'événement, et dès que la température en sortie de cœur laisse supposer un endommagement du cœur, l'utilisation des guides de gestion des accidents graves (SAMG) est décidée.

Les SAMG reposent sur une approche par symptôme de l'état de la centrale et sont donc valables pour tout scénario ayant conduit à un des critères d'entrée dans les guides de gestion des accidents graves (température élevée à la sortie du cœur ou radioactivité dans l'enceinte).

Les différentes stratégies développées dans les guides SAMG poursuivent toutes les mêmes objectifs (par ordre de priorité) :

- arrêter les relâchements de produits de fission dans l'environnement ;
- maintenir l'enceinte de confinement dans un état stable et contrôlé, ou le ramener dans cet état ;
- ramener le cœur dans un état stable et contrôlé.

En cas de perte du refroidissement du cœur avec dégradation de celui-ci, les stratégies développées dans les guides de Tihange pour restaurer le refroidissement avant rupture de la cuve et atteindre un état stable et contrôlé du cœur sont les suivantes :

- injection d'eau dans les générateurs de vapeur pour évacuer la puissance résiduelle ;
- dépressurisation du circuit primaire afin de maximiser le nombre de systèmes en mesure d'y injecter de l'eau ;
- injection d'eau dans le circuit primaire ;
- injection d'eau dans l'enceinte pour garantir un NPSH suffisant pour démarrer la phase de recirculation.

Centrale nucléaire de Doel

Si les procédures destinées à prévenir l'endommagement du cœur décrites précédemment ne permettent toujours pas de faire face à l'événement, et dès que la température en sortie de cœur laisse supposer un endommagement du cœur, l'utilisation des procédures BK (les procédures BK sont l'équivalent des guides SAMG à la centrale de Doel) est décidée.

Les procédures BK sont basées sur les symptômes ; en d'autres termes, elles sont établies en fonction de l'état de l'unité. Elles s'appliquent à tout scénario ayant conduit à un des critères d'entrée de la procédure BK-0 : température en sortie de cœur élevée ou critère spécifique au cas où les thermocouples à la sortie du cœur seraient indisponibles durant un arrêt.

Les stratégies développées dans les procédures BK poursuivent toutes les mêmes objectifs (par ordre de priorité) :

- arrêter les relâchements de produits de fission dans l'environnement ;
- maintenir l'enceinte de confinement dans un état stable et contrôlé, ou le ramener dans cet état ;
- ramener le cœur dans un état stable et contrôlé.

En cas de perte du refroidissement du cœur avec dégradation de celui-ci, les stratégies développées dans les procédures BK pour restaurer le refroidissement avant rupture de la cuve et atteindre un état stable et contrôlé du cœur sont les suivantes :

- injection d'eau dans les générateurs de vapeur pour évacuer la puissance résiduelle ;
- dépressurisation du circuit primaire afin de maximiser le nombre de systèmes en mesure d'y injecter de l'eau ;
- injection d'eau dans le circuit primaire ;
- injection d'eau dans l'enceinte pour garantir un NPSH suffisant pour démarrer la phase de recirculation et inonder le puits de cuve.

6.2.3. Après rupture de la cuve

Centrale nucléaire de Tihange

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 rupture de la cuve et atteindre un état stable et contrôlé de celui-ci sont les suivantes :

- injection d'eau dans l'enceinte pour garantir un NPSH suffisant pour démarrer la phase de recirculation ;
- injection d'eau dans le puits de cuve pour refroidir les débris du cœur présents dans le puits de cuve et ceux restant dans la cuve.

Centrale nucléaire de Doel

En cas de percement de la cuve du réacteur, il est possible qu'une partie du combustible nucléaire soit toujours présent dans la cuve, dans le cœur et/ou se dirige vers le fond de la cuve. Par conséquent, les procédures BK préconisent toujours une injection dans le circuit primaire afin que les fragments qui n'ont pas migré dans le puits de cuve puissent être refroidis, mais aussi pour que l'eau soit amenée dans le puits de cuve à travers la cuve percée.

De l'eau doit être apportée au bâtiment réacteur, tout d'abord pour immerger le puits de cuve et accroître la possibilité de refroidir le cœur, et aussi pour augmenter le niveau d'eau qui, à son tour, permettra la recirculation.

6.2.4. Effets falaises et timing

Pour identifier d'éventuels effets falaises suite à la perte du refroidissement du cœur, deux situations initiales sont envisagées : dans le premier cas, le circuit primaire est fermé, la chaleur résiduelle est alors évacuée par les générateurs de vapeur. Dans le second, le circuit primaire 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.

Centrale nucléaire de Tihange

Circuit primaire fermé

Ce premier cas est enveloppé par l'état de fonctionnement à pleine puissance de l'unité (cas le plus défavorable). Après la perte totale des alimentations électriques, seule la turbopompe du circuit d'eau alimentaire de secours / auxiliaire (respectivement EAS à Tihange 1 et EAA à Tihange 2 et Tihange 3) reste disponible à court terme pour alimenter en eau les générateurs de vapeur. Cette configuration est caractérisée par des pressions et températures élevées dans les circuits primaire et secondaire, par l'évacuation de la vapeur secondaire par les vannes de décharge à l'atmosphère (VDA) ou les soupapes des GV, et par un refroidissement insuffisant au niveau des joints des pompes du circuit primaire qui pourrait entraîner, à court terme, des fuites primaires limitées.

La principale limitation rencontrée est l'épuisement de l'eau contenue dans les bâches EAS/EAA. À Tihange 1, le volume de 120 m³ n'autorise que trois heures de refroidissement du circuit primaire par les générateurs de vapeur (jusqu'à la vidange complète des GV) si le station black-out a lieu de façon soudaine, et sept 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 du circuit d'incendie et la mise en place de flexibles permettent la réalimentation de cette bache dans un délai court (30 minutes). Les études de faisabilité seront lancées pour examiner les possibilités d'augmenter la capacité de la bache EAS à Tihange 1. Une étude de faisabilité pour l'ajout d'une pompe d'eau alimentaire de secours sera également entreprise.

À Tihange 2, la bache EAA a un volume de 680 m³ qui permet l'alimentation des générateurs de vapeur pendant 17 heures. À Tihange 3, la bache EAA a un volume de 800 m³ qui permet l'alimentation des générateurs de vapeur pendant 23 heures.

Afin d'éviter une dégradation des joints des pompes du circuit primaire, la dépressurisation du circuit primaire est souhaitable dans les heures suivant le début de l'accident. Cependant, ceci n'est pas clairement stipulé dans les procédures pour Tihange 2 et Tihange 3. Une modification des procédures afin de clarifier ce point est en cours.

Après l'ouverture manuelle des vannes de décharge à l'atmosphère (VDA) et la dépressurisation du circuit primaire, l'opérateur doit gérer le risque d'injection d'azote des accumulateurs du circuit d'injection de sécurité (CIS) dans le circuit primaire 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, la pression du circuit primaire doit être maintenue au-dessus du seuil d'injection d'azote des accumulateurs CIS. Une pression secondaire compatible avec le bon fonctionnement de la turbopompe doit également être maintenue.

Lorsque les batteries des tableaux de commande et d'instrumentation sont épuisées (environ 7 heures après le début de l'accident pour Tihange 1), la turbopompe s'arrête et l'appoint en eau aux générateurs de vapeur est perdu. Des moyens alternatifs pour récupérer le contrôle de celle-ci sont

requis pour prévenir la perte du refroidissement du cœur. Dans le cas contraire, l'assèchement des générateurs de vapeur est attendu dans les 12 heures environ après la perte d'alimentation électrique. À Tihange 2, les batteries s'épuisent entre 6 et 12 heures après l'accident, alors que cela prendra entre 7 et 14 heures pour Tihange 3. Le réglage de la vitesse de la turbopompe et des débits fournis aux générateurs de vapeur doit alors être réalisé manuellement. À ce moment, les indications du niveau d'eau dans les générateurs de vapeur est également perdue, et l'opérateur doit donc avoir réglé au préalable un débit correct vers les générateurs de vapeur, sans quoi cela peut à terme mener à l'assèchement ou au contraire à un excès d'eau dans les générateurs de vapeur.

Cependant, cette perte complète des alimentations électriques correspond à un cas extrêmement improbable, car elle suppose que :

- toutes les sources électriques externes sont perdues ;
- toutes les sources électriques internes (premier et second niveau) le soient également.

Dans ce cas peu probable de la perte du refroidissement par les générateurs de vapeur, le circuit primaire commence à bouillir et sa pression monte jusqu'au seuil d'ouverture des soupapes du pressuriseur ou des vannes de décharge à l'atmosphère. Le circuit primaire perd progressivement son inventaire en eau, ce qui entraîne alors le découvrement puis la fusion du combustible, la relocalisation du corium vers le bas de la cuve et finalement le percement du bas de la cuve. Sans intervention de l'opérateur, ce processus prend entre 2 et 3 heures.

Au moment de la perte de refroidissement par les générateurs de vapeur, les procédures accidentelles ou les guides SAMG demandent à l'opérateur de dépressuriser le circuit primaire pour ainsi faciliter l'injection dans le circuit primaire et entamer le « gavé ouvert » du circuit primaire. L'ouverture des soupapes SEBIM du pressuriseur (« PORV » et « MORV » à Tihange 2 et Tihange 3) conduit à la dépressurisation du circuit primaire, ce qui permet l'injection de l'inventaire des accumulateurs de façon passive. Cette action est susceptible 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 d'eau dans le circuit primaire.

Afin d'augmenter encore la fiabilité des soupapes SEBIM/PORV-MORV, l'étude d'une alimentation électrique alternative de leur contrôle commande sera initiée.

Les moyens non conventionnels (circuit CMU) permettent également d'assurer une alimentation des générateurs de vapeur lorsque ceux-ci sont à basse pression.

Circuit primaire ouvert

Ce cas couvre un nombre important de configurations du circuit primaire qui diffèrent fortement par la quantité de chaleur résiduelle et l'inventaire en eau du circuit primaire (incluant le volume des piscines du bâtiment réacteur). La situation la plus défavorable est la première étape de l'arrêt d'une unité dite "mi-boucle" ou "à inventaire réduit". Cette configuration se présente en moyenne cinq jours après le début des opérations d'arrêt à Tihange 1 et trois jours après le début des opérations d'arrêt à Tihange 2 et Tihange 3. Elle combine un inventaire réduit en eau dans le circuit primaire et une chaleur résiduelle encore assez élevée dans le cœur. Après la perte totale des alimentations électriques, l'eau du circuit primaire s'échauffe jusqu'à ébullition dans un délai inférieur à une demi-heure, suivi par le dégagement dans l'enceinte de confinement de la vapeur produite. Ce dégagement de vapeur est susceptible de provoquer une montée en pression progressive de l'enceinte et à terme de bloquer l'appoint gravitaire au circuit primaire si rien n'est 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. Sans autre intervention, la fusion du cœur intervient après un jour.

À Tihange 2, l'appoint gravitaire à partir des réservoirs CTP peut retarder le découvrement du cœur de 8 heures.

À Tihange 3, l'appoint gravitaire au circuit primaire dépressurisé n'est pas possible par les réservoirs CTP parce que ceux-ci se trouvent à un niveau inférieur aux boucles primaires. Cette particularité propre à Tihange 3 fait que la détérioration du refroidissement du cœur est plus rapide que dans les

autres unités : sans appoint actif au circuit primaire, la fusion du cœur aurait lieu dans les 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 remplissage du circuit primaire dans cette configuration.

Le remplissage des réservoirs B01Bi ou CTP depuis diverses sources d'eau (drainage partiel des piscines, réservoirs CAB ou CEI) permet de prolonger le fonctionnement autonome des réservoirs B0Bi et CTP jusqu'à récupération d'une source de refroidissement conventionnelle.

Il est également possible d'assurer un appoint en eau vers les réservoirs B01Bi et CTP au moyen du circuit CMU équipé de liaisons flexibles.

La pressurisation progressive de l'enceinte peut être évitée par la création d'un exutoire. Pour Tihange 1, le système de ventilation (VBP) limite également la pressurisation de l'enceinte en évacuant hors de l'enceinte la vapeur produite.

Dans la configuration où les piscines du réacteur sont remplies, le temps jusqu'au découverture des assemblages est estimé à cinq jours pour Tihange 1 et à au moins trois jours pour Tihange 2 et Tihange 3 dans la configuration la plus défavorable (c'est-à-dire l'absence de liaison entre les piscines du bâtiment réacteur et celle du bâtiment des auxiliaires nucléaires). Ce délai laisse la possibilité de mettre en œuvre une stratégie alternative de refroidissement/appoint.

Centrale nucléaire de Doel

Circuit primaire fermé

Ce premier cas est couvert par la situation de fonctionnement à pleine puissance de l'unité (cas le plus défavorable). Après la perte totale des alimentations électriques, seule la turbopompe du circuit d'eau alimentaire de secours / auxiliaire (AFW pour Doel 1/2, AF pour Doel 3 et Doel 4) reste disponible à court terme pour faire l'appoint en eau aux générateurs de vapeur. Cette configuration est caractérisée par des pressions et températures élevées dans les circuits primaire et secondaire, par l'évacuation de la vapeur secondaire par les vannes de décharge à l'atmosphère 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.

Dans ces circonstances, la procédure à suivre en cas d'accident prévoit le refroidissement du circuit primaire aussi vite que possible de manière à limiter la pression sur les joints des pompes du circuit primaire. Le refroidissement du circuit primaire et l'évacuation de la chaleur résiduelle entraînent une consommation d'eau considérable par le circuit AFW/AF.

À Doel 1/2, le premier effet falaise apparaît après une heure et demie : la vidange des réservoirs AFW (2 x 90 m³), après quoi les générateurs de vapeur peuvent encore continuer de refroidir le circuit primaire pendant plusieurs heures.

Ensuite, une alimentation alternative en eau des générateurs de vapeur est disponible :

- une pompe diesel et des canalisations temporaires sont présentes pour remplir le réservoir AFW à partir du grand réservoir MW ;
- une étude est en cours pour fournir des connecteurs pour l'alimentation en eau depuis le circuit d'extinction d'incendie (FE) jusqu'à l'aspiration des turbopompes AFW ;
- une étude est en cours pour qualifier au séisme les conduites nécessaires pour convoier l'eau du circuit FE vers la pompe AFW.

Pour Doel 3 et Doel 4, le volume important des réservoirs AF (au moins 700 m³) permet l'alimentation pendant 8 heures, après quoi les générateurs de vapeur peuvent encore continuer de refroidir le circuit primaire pendant plusieurs heures.

Ensuite, une alimentation alternative en eau des générateurs de vapeur est disponible :

- les turbopompes AFW peuvent puiser directement dans le bassin LU ;
- une étude est en cours pour fournir des connecteurs permettant d'alimenter les turbopompes AFW à partir de l'eau du circuit FE ;

- une étude est en cours pour qualifier au séisme les conduites nécessaires pour convoyer l'eau du circuit FE vers la pompe AFW.

Dès que les problèmes d'alimentation des réservoirs AFW/AF sont résolus, la pression s'exerçant sur les joints des pompes du circuit primaire constitue la priorité suivante. Le refroidissement et la diminution de la pression à 12 bars prescrits pour le circuit primaire réduisent considérablement la pression sur les joints. Dès que cette pression est atteinte (après plusieurs heures), une intervention manuelle est nécessaire pour arrêter le refroidissement au niveau des vannes de décharge à l'atmosphère de manière à empêcher une injection d'azote dans le circuit primaire par les accumulateurs du circuit d'injection de sécurité et une perte de la turbopompe d'eau alimentaire. Dans les procédures de refroidissement des générateurs de vapeur, l'attention sera attirée sur la possibilité d'ouvrir manuellement les soupapes des générateurs de vapeur.

La perte de courant continu sur les dispositifs d'instrumentation et de contrôle (due à l'épuisement des batteries) n'entraînera pas la perte de la turbopompe d'eau alimentaire, puisque le débit peut être ajusté manuellement, mais elle mènera à la perte de la vue d'ensemble de l'évolution de l'accident.

La première préoccupation sera alors l'ébullition à vide ou l'excès d'eau dans les générateurs de vapeur en raison de l'absence d'information concernant le niveau d'eau. Ce scénario peut intervenir 10 heures (Doel 1/2) ou entre 4 et 6 heures (Doel 3 et Doel 4) après un station black-out. Un réseau de secours 380 V sera fourni de manière à alimenter alternativement les redresseurs des batteries.

Dans ce cas improbable de la perte du refroidissement par les générateurs de vapeur, le circuit primaire se met à bouillir et sa pression monte jusqu'au seuil d'ouverture des soupapes du pressuriseur ou des vannes de décharge à l'atmosphère. Le circuit primaire perd progressivement son inventaire en eau, ce qui entraîne alors le découvrage puis la fusion du combustible, la relocalisation du corium vers le bas de la cuve et finalement le percement du bas de la cuve. Sans intervention de l'opérateur, ce processus prend entre 2 et 3 heures.

Au moment de la perte de refroidissement par les générateurs de vapeur, les procédures ERG et BK demandent à l'opérateur de dépressuriser le circuit primaire pour ainsi faciliter l'injection dans le circuit primaire et entamer le « gavage ouvert » du circuit primaire. L'ouverture des soupapes du pressuriseur conduit à la dépressurisation du circuit primaire, ce qui permet l'injection de l'inventaire des accumulateurs de façon passive. Cette action est susceptible 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 d'eau dans le circuit primaire.

Afin d'augmenter encore la fiabilité des soupapes SEBIM/PORV-MORV, l'étude d'une alimentation électrique alternative de leur contrôle commande sera initiée.

Pour Doel 1/2, des câbles électriques sont fournis pour l'alimentation électrique alternative des pompes d'aspersion (SP) au moyen de générateurs électrogènes. De cette manière, en cas de circuit primaire ouvert, il sera possible de convoyer de l'eau au système de refroidissement à l'arrêt (SC) via la connexion SI-SP au moyen de l'aspersion SP dans le bâtiment réacteur. Afin de pouvoir réaliser cette action avec un circuit primaire fermé, une vanne d'isolement manuelle sera installée sur la ligne d'aspersion (étude en cours).

Pour Doel 3 et Doel 4, une étude est en cours pour installer des connecteurs externes sur les pompes SP, permettant à une pompe mobile d'obtenir un débit SP alternatif qui peut être aligné sur le circuit primaire.

Circuit primaire ouvert

Ce cas couvre un nombre important de configurations du circuit primaire qui diffèrent fortement par la quantité de chaleur résiduelle et l'inventaire en eau du circuit primaire (y compris le volume des piscines du bâtiment réacteur). La situation la plus défavorable est la première étape de l'arrêt d'une unité dite "mi-boucle" ou "à inventaire réduit". Elle combine un inventaire réduit en eau dans le circuit primaire et une chaleur résiduelle encore assez élevée dans le cœur. Après la perte totale des alimentations électriques, l'eau du circuit primaire s'échauffe jusqu'à ébullition dans un délai inférieur à une demi-heure suivi par le dégagement dans l'enceinte de confinement de la vapeur produite. Ce dégagement de vapeur est susceptible 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 Doel 1/2, l'appoint gravitaire à partir du réservoir R11 peut retarder le découvrément du cœur de plusieurs heures. Au début d'un arrêt de tranche, quand le réacteur est arrêté depuis seulement 1 à 3 jours, ce délai est compris entre 12 et 18 heures.

Pour Doel 1/2, des câbles électriques sont installés pour l'alimentation électrique alternative des pompes SP avec des générateurs électrogènes. De cette manière, en cas de circuit primaire ouvert, il sera possible de transférer de l'eau au circuit SC par la connexion SI-SP au moyen de l'aspersion SP dans le bâtiment réacteur.

À Doel 3 et Doel 4, l'appoint gravitaire à partir du RWST est efficace et peut retarder le découvrément du cœur de plusieurs heures. Au début d'un arrêt de tranche, quand le réacteur est arrêté depuis seulement 1 à 3 jours, ce délai est compris entre 10 et 18 heures.

Pour Doel 3 et Doel 4, une étude est en cours pour installer des connecteurs externes sur les pompes SP, permettant à une pompe mobile d'obtenir un débit SP alternatif qui peut être aligné sur le circuit primaire.

6.2.5. Adéquation de la gestion d'accident actuelle et mesures additionnelles possibles

6.2.5.1. Procédures de gestion d'accident grave

Centrale nucléaire de Tihange

Les mesures de limitation des conséquences 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 d'accident ainsi que dans les guides SAMG. Ces textes couvrent les différents stades de l'accident, et prennent en compte les différents états initiaux possibles des unités.

Les Emergency Operations Procedures de Tihange (EOP) sont basées sur les procédures standard de Framatom-EDF et du WOG. Ces documents ont fait l'objet d'une évaluation indépendante par le concepteur avant leur mise en application.

De même, les procédures spécifiques au second niveau de protection pour Tihange 2 et Tihange 3 ont été évaluées par Westinghouse, avant leur mise en application lors du démarrage de Tihange 3, ou lors le changement (approche FROG vers approche WOG) pour Tihange 2 à la fin des années 1980.

Chaque procédure est liée à une règle de conduite (Tihange 1) ou une base de conduite (Tihange 2 et Tihange 3). Cette règle/base 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 (évolution des paramètres et justification de la philosophie).

Les guides SAMG de Tihange consistent en une adaptation pour chaque unité des guides génériques du Westinghouse Owners Group (WOG) émis en 1994, qui ont été validés lors de la publication.

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'accident grave. Les guides se sont montrés autoportants et ne nécessitent pas d'outils supplémentaires d'aide à la décision. Certaines corrections et améliorations mineures ont également été suggérées.

De plus, plusieurs thèmes ont fait l'objet d'une analyse qui a mené à de légères améliorations ne remettant pas en cause la gestion des accidents graves telle que prévue dans les guides SAMG actuels.

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'événements filtrés sur le bâtiment réacteur de toutes les 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 recherche et du développement au niveau international sur l'endommagement du radier dû à l'interaction corium-béton. Cette R&D fait, et continuera de faire, l'objet d'une veille active. En parallèle, une étude de faisabilité pour l'utilisation d'une méthode additionnelle pour injecter de l'eau (en plus de toutes les méthodes déjà existantes) sera lancée. Le retour d'expérience international de l'accident de Fukushima, ainsi que toutes les nouvelles révisions des SAMG du WOG, seront considérés et appliqués si nécessaire, selon les recommandations internationales et celles du WOG.

La mise en place de nouveaux moyens non conventionnels implique en effet l'intégration de ces ressources dans les procédures accidentelles et dans les guides de gestion des accidents graves.

Centrale nucléaire de Doel

Les mesures de limitation des conséquences 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 ERG et BK. Ces textes couvrent les différents stades de l'accident, et prennent en compte les différents états initiaux possibles des unités.

Chaque procédure ERG pour une unité de Doel est accompagnée d'un document explicatif. Ce document fait le lien entre les procédures génériques ERG du WOG et les procédures ERG spécifiques à l'unité. Cela permet d'identifier les similarités et les différences par rapport aux procédures ERG génériques et, si nécessaire, de donner des remarques explicatives.

Les procédures BK de Doel sont inspirées par la philosophie des Severe Accident Management Guidelines (SAMG) du Westinghouse Owners Group (WOG), complétées par des procédures spécifiques. Les procédures BK-0 et BK-1 de Doel 3 et Doel 4 ont été vérifiées par l'Autorité de sûreté. Ces procédures sont similaires pour Doel 3, Doel 4 et Doel 1/2, ce qui implique que les remarques et réponses de l'Autorité de sûreté s'appliquent aux quatre unités.

Les procédures BK (et les stratégies qui y sont développées) ont été validées durant les révisions périodiques de sûreté de Doel 1/2, Doel 3 et Doel 4.

La mise en place de nouveaux moyens non conventionnels implique en effet l'intégration de ces ressources dans les procédures accidentelles et les procédures BK. Les instructions nécessaires concernant l'utilisation de ces moyens non conventionnels seront intégrées dans les procédures.

6.2.5.2. Disponibilité et adéquation de l'instrumentation

Selon les procédures d'urgence (EOP pour Tihange, ERG pour Doel), les chaînes de surveillance post-accidentelles (PAMS) sont utilisées pour gérer l'accident. Ces chaînes de mesures ont été qualifiées pour résister aux conditions des accidents de conception. Elles fournissent des informations éventuellement corroborées par toute autre système dont la validité serait avérée.

Les guides SAMG (Tihange) et les procédures BK (Doel) comprennent des guides de diagnostic qui font appel à un nombre limité de paramètres clés représentant les 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 de confinement ;
- le niveau d'eau dans les puisards de l'enceinte ;
- les débits de dose sur le site ;
- la concentration d'hydrogène dans l'enceinte (centrale de Doel).

Aucune disposition n'est prévue dans les guides SAMG de Tihange pour le suivi de la concentration en hydrogène dans l'enceinte, puisque des recombineurs autocatalytiques passifs limitent la concentration moyenne dans l'enceinte à moins de 5 %.

La stratégie de mise en œuvre dans les guides SAMG et les procédures BK a pour objectif, entre autres, de minimiser le risque de dégradation des équipements et de l'instrumentation en conditions d'accidents graves.

Au niveau international, l'approche des WOG SAMG génériques est considérée comme adéquate en ce qui concerne les besoins et capacités de l'instrumentation. En effet :

- 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, dans la mesure où les besoins de précision sont moindres ;
- la redondance et l'existence 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 la manière dont il progresse, 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 (Committee 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 aussi été validée durant la révision périodique de sûreté.

Le retour d'expérience international à la suite de l'accident de Fukushima pour ce qui concerne l'instrumentation, ainsi que toute révision de l'approche des SAMG du WOG à ce sujet, seront examinés et traités si nécessaire, conformément aux recommandations internationales et à celles du WOG.

Le suivi de la concentration d'hydrogène dans le bâtiment réacteur va être mis en œuvre dans les guides SAMG de Tihange pour s'assurer qu'il n'existe aucun risque lié à la présence d'hydrogène dans les bâtiments voisins.

6.2.5.3. Disponibilité et habitabilité de la salle de conduite

Centrale nucléaire de Tihange

Pour les trois unités, la ventilation et le conditionnement de la salle de conduite principale et du COT sont assurés par le système CSC (deux trains redondants secourus). Plus précisément, ce circuit de ventilation/conditionnement couvre les salles de conduite ainsi que certains locaux du bâtiment des auxiliaires électriques (BAE).

Ce système a pour rôle :

- de maintenir les conditions ambiantes dans des limites définies et d'assurer le confort des occupants ainsi que le bon fonctionnement du matériel ;
- d'assurer l'habitabilité des locaux de la salle de conduite et du COT en les isolant en cas d'accident tel qu'une contamination radioactive du site, ou le relâchement de fumées ou de gaz toxiques/explosifs sur le site.

L'installation est essentiellement constituée de deux unités de conditionnement d'air redondantes, avec secours mutuel : l'un peut être utilisé en secours en cas de défaillance de l'autre. Des filtres absolus et des filtres à charbon actif sont disposés dans les gaines d'apport d'air extérieur. Des filtres identiques sont également installés pour la filtration interne de la salle de conduite et du COT.

En cas de contamination radioactive sur le site, le passage en configuration « isolement de la salle de conduite et du COT » est déclenché soit par le signal d'injection de sécurité (pour Tihange 2 et Tihange 3), soit par le signal « radioactivité élevée plénum aspiration air extérieur » (pour les trois

unités. 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 (perte de refroidissement 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 appareils respiratoires autonomes à bonbonne, sont disponibles dans les unités. Les quantités disponibles suffisent à couvrir les besoins en cas d'accident avec conséquences radiologiques.

En plus de leur salle de conduite normale, les unités Tihange 2 et Tihange 3 sont équipées d'une salle de conduite d'urgence (BUS) dont les circuits de ventilation/conditionnement sont constitués de trois trains indépendants.

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 assurer l'habitabilité de la salle de conduite et isoler 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 protéger les opérateurs contre l'iode radioactive, des comprimés d'iode stable sont disponibles en différents endroits du site (points de regroupement, centres opérationnels de tranche, locaux des équipes de première intervention, service médical).

En cas d'accident grave avec dégradation du cœur combiné à un station black-out, la ventilation de la salle de conduite sera perdue. Les conditions d'habitabilité seront suivies par l'équipe de crise pour s'assurer du respect strict des limites dosimétriques et de l'adéquation des moyens mis en œuvre pour limiter les doses intégrées. Une rotation des opérateurs aidera à limiter les doses individuelles. La remise en service de la ventilation de la salle de conduite constitue une tâche prioritaire pour la limitation des doses encourues.

Centrale nucléaire de Doel

Le système de ventilation (VP) de la salle de conduite principale de Doel 1/2 est constitué d'un ou deux ventilateurs, chacun ayant une capacité de 100 %. L'air est réfrigéré par le circuit CF et renouvelé par un ventilateur de pulsion. La salle de conduite dispose également de quatre climatiseurs d'air (froid) séparés et autonomes (4 x 50%).

En cas d'accident interne, la ventilation est automatiquement isolée. Les ventilateurs de secours (2 x 100 %) avec leurs batteries de filtres (préfiltre, filtre absolu, filtre à charbon actif) entrent en fonction à ce moment. Ils sont alimentés par les générateurs diesel de secours. Les batteries de filtration ont une autonomie de 720 heures.

En cas de problème sur une installation voisine, la ventilation est isolée automatiquement dès la détection de rayonnements ionisants. Les portes d'accès sont maintenues fermées pour prévenir une contamination. Les opérateurs peuvent également isoler manuellement la ventilation de l'air extérieur.

Le personnel de la salle de conduite de Doel 1/2 a la possibilité de se déplacer dans une salle de contrôle d'urgence au cas où l'habitabilité de la salle de conduite principale l'imposerait. La ventilation interne de cette salle de conduite d'urgence est fournie par le système GNS. Quand des gaz toxiques sont détectés, l'admission d'air est coupée. Il n'y a pas de filtres pour capturer les particules radioactives ou l'iode radioactive.

Le système de ventilation de la salle de conduite principale de Doel 3 et Doel 4 est constitué d'un ou deux ventilateurs (chacun 100 %). En cas d'accident interne, la ventilation est automatiquement isolée. À ce moment, l'admission d'air sera coupée, ainsi que la recirculation interne normale. Les

ventilateurs de secours (2 x 100%) avec leurs batteries de filtres (préfiltre, filtre absolu, filtre à charbon actif) entreront alors en fonction, ainsi que le système d'extraction de chaleur CD/CF. Le circuit est redondant et alimenté par les générateurs diesel de secours.

Le personnel de la salle de conduite de Doel 3 et Doel 4 a également la possibilité de se déplacer dans une salle de contrôle d'urgence au cas où l'habitabilité de la salle de conduite principale l'imposerait. La ventilation interne est assurée par le système BKR. Quand des gaz toxiques sont détectés, l'admission d'air est coupée. Il n'y a pas de filtres pour capturer les particules radioactives ou l'iode radioactif.

Il existe des masques filtrants avec leurs cartouches appropriées (pour les polluants classiques, les poussières et l'iode) et des masques à oxygène disponibles en nombre suffisant à différents endroits du site. Une procédure spécifique décrit la méthode de rechargement des bouteilles d'oxygène. Selon que l'air ambiant est contaminé par des éléments radioactifs ou non, un service de navettes enlèvera les bouteilles d'oxygène pour les recharger à Kildrecht ou Kallo.

Pour protéger efficacement le personnel, des comprimés d'iode sont présents en quantités suffisantes dans les salles de conduite principales, dans les salles de conduite d'urgence, à l'entrée des zones contrôlées, dans la salle de gestion de crise et dans les véhicules d'intervention.

Les doses auxquelles le personnel est exposé font l'objet d'un suivi. Les limites légales ne sont pas dépassées. Une rotation du personnel est prévue.

Des équipements de protection individuelle sont également disponibles pour la protection contre d'autres formes de contamination. Des lampes torches et des lampes frontales peuvent être utilisées en cas d'épuisement des batteries de l'éclairage de secours.

6.3. Mesures de gestion d'accident pour maintenir l'intégrité de l'enceinte après endommagement du cœur

6.3.1. Gestion des risques d'hydrogène dans l'enceinte

Suite à l'oxydation des gaines en zirconium dans le cœur ou aux interactions entre le corium et le béton après une rupture de la cuve du réacteur, des quantités significatives d'hydrogène peuvent être produites et se retrouver dans l'enceinte de confinement.

Les bâtiments réacteurs de toutes les unités de Doel et Tihange sont équipés de recombineurs autocatalytiques passifs (PAR) dans différents compartiments de l'enceinte. Ces dispositifs sont conçus pour maintenir une concentration volumique moyenne d'hydrogène inférieure à 5 %, afin d'éviter une détonation pouvant menacer l'intégrité de l'enceinte. De plus, la surface autocatalytique totale a été surdimensionnée avec une marge de sécurité de 20 %. Par ailleurs, l'utilisation du recombineur thermique disponible sur le site permet de limiter les quantités d'hydrogène présentes dans l'enceinte.

L'hydrogène peut migrer de l'enceinte vers un bâtiment adjacent par différents chemins de fuite :

- un contournement de l'enceinte résultant d'une séquence accidentelle (rupture de tubes de générateur de vapeur, Interfacing Systems Loss Of Coolant Accident (ISLOCA)) ;
- le taux de fuite normal de l'enceinte ;
- une 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'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 développement 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 voisins.

Les actions préconisées dans les procédures d'accident consistent à identifier un ISLOCA potentiel afin d'éviter les rejets vers le bâtiment des auxiliaires nucléaires ou l'espace annulaire. Les SAMG insistent sur l'importance des actions d'isolement d'enceinte et les considèrent comme prioritaires.

Les procédures existantes et les mesures de conception spécifiques, incluant l'installation des PAR qui limitent la quantité d'hydrogène dans l'enceinte, forment une base solide pour minimiser l'accumulation d'hydrogène dans un bâtiment en communication avec l'enceinte. Dans le cadre de la révision périodique de sûreté, des mesures ont été prises pour compléter les SAMG, en particulier 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.

Dans le cas où le noyage du corium n'entraîne pas une géométrie refroidissable du corium, une interaction peut survenir entre le corium et le béton. Dans un tel scénario, l'accumulation d'hydrogène dans l'espace annulaire (Doel 1/2) ou dans le bâtiment des services nucléaires GNH (Doel 3 et Doel 4) – après réalisation d'un événement non filtré dans l'enceinte – bien que très peu probable, ne peut être exclue. L'installation d'un événement filtré de l'enceinte offre une solution possible dans ce cas.

6.3.2. Prévention d'une surpression de l'enceinte de confinement

Pour prévenir une pression excessive dans l'enceinte de confinement, 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 présentes dans le circuit primaire. Ces deux phénomènes peuvent entraîner une suppression de l'enceinte.

La stratégie consiste à dépressuriser le circuit primaire en utilisant les méthodes 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/ultime du pressuriseur ou par l'ouverture des vannes de décharge du pressuriseur.

Lorsque la pression dans l'enceinte ne correspond plus à un état stable et contrôlé à long terme, la stratégie principale consiste à diminuer la pression de l'enceinte en la refroidissant grâce aux moyens ci-dessous :

- les pompes d'aspersion de l'enceinte ;
- les pompes du circuit d'injection de sécurité basse pression, après connexion des lignes d'injection basse pression aux lignes du système d'aspersion d'enceinte.

Pour les unités de Tihange et pour Doel 3 et Doel 4, afin d'augmenter la diversification de la fonction d'aspersion de l'enceinte de confinement, une étude de faisabilité va être initiée en vue d'ajouter un raccord bridé externe sur les pompes d'aspersion, afin d'obtenir un débit d'aspersion alternatif avec une pompe d'aspersion mobile.

Pour Doel 1/2, des câbles électriques sont installés pour l'alimentation électrique alternative des pompes SP avec des générateurs électrogènes.

Suite à une éventuelle rupture de la 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. Cependant, le monoxyde de carbone serait recombéné par les recombineurs d'hydrogène.

Une étude de faisabilité sera réalisée pour installer un événement filtré destiné à mieux gérer la problématique de surpression d'enceinte. Cet événement filtré constitue la mesure ultime de dépressurisation de l'enceinte, qui ne sera mise en œuvre que si la situation l'exige pour éviter un endommagement de l'enceinte, si toutes les autres mesures préventives ne permettent pas de réduire la pression.

6.3.3. Prévention du retour en criticité

Centrale nucléaire de Tihange

Le site dispose de réserves importantes d'acide borique qui permettent d'éviter le recours à de l'eau sous-borée, voire non borée. Lorsque l'inventaire en eau borée disponible dans les bâches B01Bi et CTP devient faible, ces réservoirs sont réalimentés avec de l'eau possédant des 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 cette base, les guides génériques SAMG émis par le 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 de sévères restrictions d'utilisation. Dans le cadre des diverses études initiées par le WOG suite à l'accident de Fukushima, l'analyse des appoints en eau borée / non borée sera abordé. Les conclusions seront intégrées dans les évolutions futures des guides SAMG.

Les ressources d'eau borée sont injectées avec le débit minimum suffisant pour assurer un refroidissement correct du cœur et assurer une consommation minimale d'acide borique.

Centrale nucléaire de Doel

Avant que la cuve du réacteur ne soit perforée, seule de l'eau borée peut être injectée dans la cuve du réacteur.

Après perforation de la cuve, il est important de prévenir le retour en criticité du réacteur nucléaire. À cette fin – et en cas de pénurie d'eau borée – de l'eau pure (sans acide borique) ne sera injectée dans le bâtiment réacteur que dans des quantités limitées.

6.3.4. Prévention du percement du radier

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,
- les pompes d'injection de sécurité basse pression,
- les pompes d'injection ultime,
- les pompes d'aspersion d'enceinte, après connexion des lignes d'injection basse pression aux lignes du système d'aspersion d'enceinte,
- les systèmes alternatifs d'injection : les pompes d'acide borique et d'eau dégazée du circuit de contrôle volumétrique et chimique, les pompes primaires.

Centrale nucléaire de Tihange

Pour les unités de Tihange, afin d'éviter le percement du radier après la rupture de la cuve, la stratégie principale consiste, dans un premier temps, à conserver le puits de cuve sec de manière à favoriser l'étalement du corium sur le radier et éviter le risque d'une explosion de vapeur, et, dans un second temps, à injecter de l'eau dans le puits de cuve avec les moyens décrits précédemment. En effet, l'eau injectée dans le circuit primaire atteindra finalement le puits de cuve en raison du percement de cette dernière.

Une étude de faisabilité pour l'utilisation d'une méthode additionnelle pour injecter de l'eau dans le puits de cuve (en plus de celles déjà existantes) sera lancée.

Centrale nucléaire de Doel

Pour les unités de Doel, afin d'éviter le percement du radier après la rupture de la cuve, le puits de cuve est inondé à titre préventif (avant la rupture de la cuve) au moyen d'un appoint gravitaire au moyen du circuit RWST et de l'ouverture des vannes de recirculation.

Une fois que la cuve a été perforée, il existe deux possibilités d'injection dans le puits de cuve :

- injection dans le circuit primaire au moyen des dispositifs d'injection précités, via la brèche dans la cuve du réacteur ;
- aspersion dans le bâtiment du réacteur ; l'eau injectée atteindra le puits de cuve par les connexions entre les puisards du réacteur et le puits de cuve.

Les développements concernant les interactions corium-béton seront suivis de près.

6.3.5. Besoins et fourniture de courant électrique alternatif et continu et d'air comprimé aux équipements utilisés pour préserver l'intégrité du confinement

Centrale nucléaire de Tihange

Tihange 1

Parmi les moyens identifiés pour la mise en œuvre des stratégies précitées, les pompes associées aux circuits suivants sont secourues par les générateurs diesels de secours : 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.

L'instrumentation et le contrôle commande sont secourus par des batteries et par les générateurs diesels d'ultime secours via des redresseurs.

L'utilisation 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 nécessitent pas de courant alternatif, et leur contrôle commande est secouru par les batteries et les groupes diesel de secours via des redresseurs. Les tandems SEBIM du pressuriseur fonctionnent sur courant continu secouru par des batteries et les groupes diesel de secours via des redresseurs.

Tihange 2 et Tihange 3

Parmi les moyens identifiés pour la mise en œuvre des stratégies précitées, les pompes associées aux circuits suivants sont secourues par les générateurs diesels du premier niveau : circuit d'eau alimentaire de secours, circuit d'injection de sécurité, circuit d'aspersion d'enceinte, circuit de contrôle volumétrique et chimique, circuit d'acide borique et circuit d'air comprimé.

Les pompes d'ultime secours sont alimentées par les générateurs diesel du second niveau.

L'instrumentation et le contrôle commande sont secourus par des batteries et par les générateurs diesel de secours via des 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 leur contrôle commande est secouru par des batteries et les générateurs diesel de secours via des redresseurs. Les vannes d'aspersion d'ultime secours du pressuriseur sont secourues par le second niveau. Les PORV nécessitent une réalimentation en air comprimé.

Les alimentations électriques des deux niveaux de protection des unités peuvent être connectées pour permettre leur secours mutuel en cas de défaillance. Une procédure sera rédigée pour intégrer cette manipulation. Elle inclura le stockage des câbles pour réaliser les interconnexions entre les différents tableaux électriques.

Afin de fiabiliser au maximum l'alimentation électrique de l'instrumentation, une possibilité de réalimentation au moyen de générateurs diesels autonomes sera étudiée pour les trois unités.

Centrale nucléaire de Doel

La procédure BK-3 décrit l'alimentation électrique des équipements nécessaires pour protéger l'intégrité de l'enceinte. Dans cette même procédure, des systèmes alternatifs d'alimentation électrique sont proposés.

Dans les systèmes suivants, les pompes sont alimentées par les générateurs diesel de secours ou d'ultime secours :

- le circuit auxiliaire d'eau alimentaire ;

- le circuit d'eau alimentaire d'ultime secours ;
- le circuit d'injection de sécurité ;
- le circuit ultime d'appoint en eau du circuit primaire (Doel 3 et Doel 4) ;
- le circuit de refroidissement ultime des joints des pompes primaires ;
- le circuit de charge ;
- le circuit d'aspersion de l'enceinte.

Les batteries et les générateurs diesel d'ultime secours assureront le fonctionnement du contrôle commande des pompes. Les vannes de décharge des générateurs de vapeur – vers le condenseur et l'atmosphère – ne nécessitent pas de courant alternatif. L'aspersion ultime du pressuriseur, le refroidissement des batteries de ventilation et les ventilateurs sont alimentés par des générateurs diesel de secours ou d'ultime secours.

Les SEBIM du pressuriseur (Doel 1/2) nécessitent du courant continu, fourni par des batteries, avec des générateurs diesel comme alimentation de secours ultime. Les PORV (Doel 3 et Doel 4) nécessitent du courant continu ainsi que de l'air comprimé. Les MORV (Doel 3 et Doel 4) nécessitent du courant continu ainsi que du 380 V.

Une alimentation électrique alternative des compresseurs IAK sera fournie par le réseau 380 V de secours. L'alimentation électrique des PORV/MORV et des SEBIM sera également fournie par le réseau 380 V de secours.

6.3.6. Effets falaises et timing

Les bâtiments réacteurs de Doel et 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 un relâchement d'eau, de vapeur ou de gaz non condensables dans le bâtiment réacteur.

L'enceinte interne des unités de Tihange est constituée d'un cylindre en béton précontraint avec une peau d'étanchéité métallique sur sa face intérieure. L'enceinte interne sphérique en acier de Doel 1/2 est caractérisée par une robustesse mécanique considérable. L'enceinte interne de Doel 3 et de Doel 4 est constituée d'un cylindre de béton précontraint avec une peau d'étanchéité métallique sur sa face intérieure.

Le tableau suivant présente les caractéristiques du bâtiment réacteur prises en compte pour les études d'intégrité de l'enceinte lors d'accidents hors conception. Les « pressions ultimes » sont celles pour lesquelles des fuites importantes deviennent probables au niveau du sas d'entrée matériel. Néanmoins, le dépassement de la pression ultime n'entraîne pas la ruine complète de l'enceinte.

Tableau 15 : Caractéristiques des bâtiments réacteurs de Tihange

	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 [m³]	68 446	67 856	71 812
Épaisseur du radier [m]	2,15	2,64	2,64
Nombre de PAR [-]	37	38	40
Surface des PAR [m²]	376	329	396

Tableau 16 : Caractéristiques des bâtiments réacteurs de Doel

	Doel 1/2	Doel 3	Doel 4
Pression de conception [bar abs]	3,86	4,5	4,7
Pression ultime [bar abs]	8	> 6	> 6
Volume libre [m³]	42 828	60 758	60 302
Épaisseur du radier [m]	2,45 + 1,4	3,25	3,45
Nombre de PAR [-]	24	40	37
Surface des PAR [m²]	227	306	336

Le système de refroidissement/dépressurisation des bâtiments réacteurs inclut plusieurs pompes d'aspersion – permettant de travailler en mode aspersion directe ou en mode recirculation – auxquelles s'ajoutent les pompes d'injection de sécurité basse pression qui peuvent reprendre cette fonction de refroidissement en cas de défaillances multiples.

Les modes de défaillance possibles du bâtiment réacteur jusqu'au moment du percement de la cuve sont énumérés ci-dessous.

a) Contournement du bâtiment réacteur au niveau d'une pénétration

Ceci serait la conséquence d'un événement initiateur hors conception. Toutes les pénétrations dans le bâtiment réacteur sont munies de deux organes d'isolement redondants, dont les vannes se ferment automatiquement en cas de perte du contrôle commande. Dans la majorité des cas, l'opérateur peut, après avoir identifié la fuite, actionner des vannes supplémentaires pour isoler la ligne en cause. De telles fuites, bien qu'improbables, sont difficiles à exclure, mais facilement isolables.

b) Rupture induite d'un tube des générateurs de vapeur

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 peut généralement être évité parce que la rupture du circuit primaire par fluage est plus probable au niveau de la branche chaude.

Une brèche peut survenir au niveau des tubes des générateurs de vapeur si une pression élevée dans le circuit primaire est combinée avec des générateurs de vapeur 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 générateurs de vapeur.

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 pourrait mener à un risque de déflagration.

Pour éviter ce risque, les bâtiments réacteurs 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 de la limite d'explosivité), ces recombineurs entrent en fonction et réduisent la concentration d'hydrogène et de monoxyde de carbone. Les PAR couvrent aussi le risque d'explosion d'hydrogène à long terme, c'est-à-dire après le percement éventuel de la cuve.

Le recombineur thermique contribue également de limiter la quantité d'hydrogène présente dans les bâtiments réacteurs à long terme.

d) Autres modes de défaillance

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 bâtiment réacteur (« high pressure melt injection ») menant à l'échauffement soudain de l'air dans le bâtiment réacteur (« direct containment heating ») ;
- la pressurisation par le dégagement dans le bâtiment réacteur de quantités importantes d'eau et de vapeur présentes dans le circuit primaire ;
- la pressurisation 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 vannes de décharge du pressuriseur.

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 causer des dommages à l'enceinte de confinement. Une explosion de vapeur est cependant improbable, d'après les expériences menées dans le cadre de divers programmes de recherche qui n'ont pas pu créer ce phénomène.

Sur le long terme, deux modes de défaillance de l'enceinte pourraient exister à Doel et Tihange. D'une part, le percement du radier du puits de cuve et d'autre part, la pressurisation du bâtiment réacteur par la production de vapeur résultant de l'évacuation de la chaleur résiduelle et/ou de la production de gaz non condensables produits par les interactions corium-béton.

Pour les unités de Tihange, le puits de cuve est sec dans la plupart des cas (tel que préconisé dans les SAMG) au moment du percement de la cuve. Sans apport d'eau via le circuit primaire, des interactions corium-béton sont inévitables. Sur la base d'estimations conservatives, 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 de type calcaire (type de béton 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 est tel que, même dans des configurations extrêmement dégradées, il reste une marge de temps plus que suffisante pour mettre en place les raccordements appropriés afin 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 des unités de Tihange sera initiée.

Pour les unités de Doel, comme le puits de cuve sera probablement inondé au moment du percement de la cuve, le corium sera probablement noyé et fragmenté. Par conséquent, l'eau présente sera capable de le refroidir plus rapidement. Si ce n'est que partiellement le cas, ou si la quantité d'eau de refroidissement pouvant être ajoutée est trop faible, il n'est pas exclu que la dalle en béton du puits de cuve soit affectée par les interactions corium-béton. Ce processus sera cependant plus lent que la pressurisation du bâtiment réacteur causée par le dégagement de vapeur dû à l'évacuation de la chaleur résiduelle. Sans apport d'eau de refroidissement dans le puits de cuve, le percement du radier devrait, selon les estimations, survenir après plus de cinq jours (valeur pour Doel 3).

La puissance résiduelle libérée dans le bâtiment réacteur sous forme de vapeur peut être traitée par aspersion d'eau froide à moyen terme et/ou par un circuit de refroidissement avec échangeur thermique à long terme (circuit d'aspersion d'enceinte et/ou circuit d'injection de sécurité en mode recirculation). Si un tel refroidissement n'est pas réalisé, la pression de conception du bâtiment réacteur serait atteinte sous 40 à 48 heures après la perte de toutes les sources froides. Les mêmes estimations font état d'une pression ultime atteinte après une période de trois à quatre jours.

Une étude de faisabilité sera réalisée concernant l'installation d'un événement filtré, destiné à mieux gérer la problématique de surpression d'enceinte et à prévenir la perte du confinement par défaillance de l'enceinte si toutes les autres mesures préventives ont échoué à réduire la pression.

Pour les unités de Tihange et pour Doel 3 et Doel 4, afin d'augmenter la diversification de la fonction d'aspersion de l'enceinte de confinement, une étude de faisabilité va être initiée en vue d'ajouter une

connexion bridée externe sur les pompes d'aspersion de l'enceinte, pour obtenir un débit d'aspersion alternatif avec une pompe d'aspersion mobile.

Pour Doel 1/2, des câbles électriques sont installés pour l'alimentation électrique alternative des pompes SP avec des générateurs électrogènes.

6.3.7. 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 minimiser les conséquences. Si des fonctions de sûreté sont perdues, la stratégie vise le retour à un état stable et contrôlé, en s'assurant que :

- les rejets dans l'environnement sont négligeables ;
- la pression et la température dans le bâtiment réacteur sont normalisées et stables ;
- le cœur est 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 terme et à moyen terme pour autant qu'il existe un apport en eau garanti et suffisant pour compenser l'évaporation et la condensation, et la vapeur libérée dans le bâtiment réacteur.

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 d'enceinte dans le bâtiment réacteur et/ou l'injection dans le circuit primaire feront monter le niveau d'eau dans le puisard, entraînant la perte d'équipements de sûreté et finalement la perte de l'intégrité du bâtiment réacteur.

6.3.8. Aperçu des stratégies de gestion d'accident et moyens mis en œuvre

Tableau 17 : Stratégie de gestion d'accident grave et moyens mis en œuvre à la centrale de Tihange

Stratégie	Objectifs	Moyens	Alimentations électriques
Injection d'eau dans les générateurs de vapeur	Évacuer la puissance résiduelle et prévenir le percement de la cuve	Pompes d'eau alimentaire normale	L'alimentation en courant alternatif n'est pas secourue
		Pompes du circuit d'eau d'extraction	
		Pompes d'eau brute	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les générateurs diesel GDS du premier niveau
		Pompes d'eau alimentaire de secours (Tihange 1) Pompes d'eau alimentaire auxiliaire (Tihange 2 et Tihange 3)	
Pompes d'eau alimentaire d'ultime secours (Tihange 2 et Tihange 3)	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les générateurs diesel GDU de second niveau		
Dépressurisation du circuit primaire	Maximiser le nombre de sources capables d'alimenter le circuit primaire	Vannes de décharge des générateurs de vapeur (contournement) au condenseur	L'alimentation en courant alternatif n'est pas requise
		Vannes de décharge des générateurs de vapeur (contournement) à l'atmosphère	
		Aspersion auxiliaire du pressuriseur	

Stratégie	Objectifs	Moyens	Alimentations électriques
		Soupapes SEBIM (Tihange 1) Vannes de décharge du pressuriseur (Tihange 2 et Tihange 3)	Une alimentation en courant continu est nécessaire à Tihange 1 et secourue par les batteries et les générateurs diesel GDS L'alimentation en courant alternatif n'est pas nécessaire pour les vannes de décharge à Tihange 2 et Tihange 3
		Soutirage du circuit de contrôle volumétrique et chimique (CCV)	L'alimentation électrique n'est pas nécessaire à Tihange 1 L'alimentation électrique est secourue par le premier et le second niveau à Tihange 2 et Tihange 3
		Aspersion d'ultime secours du pressuriseur à Tihange 2 et Tihange 3 par le circuit d'injection d'ultime secours	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les générateurs diesel 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 générateurs diesel GDS
	Fournir un moyen de refroidissement du cœur	Pompes d'injection de sécurité haute pression	
	Éviter ou retarder la rupture de la cuve du réacteur	Pompes d'aspersion d'enceinte connectées au circuit d'injection de sécurité	
		Pompes de charge du circuit CCV	
		Pompes du circuit d'appoint en bore	
	Pompes d'eau déminéralisée dégazée	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les générateurs diesel GDU	
	Pompes du circuit d'injection d'ultime secours (Tihange 2 et Tihange 3)		
Pompes primaires	L'alimentation en courant alternatif n'est pas secourue		
Injection d'eau dans l'enceinte de confinement	Garantir un NPSH suffisant pour le passage en recirculation	Pompes d'aspersion d'enceinte	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les générateurs diesel GDS
		Pompes d'injection de sécurité basse pression lignées sur le circuit d'aspersion d'enceinte	
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 générateurs diesel GDS
	Refroidir les débris du cœur restés dans la cuve	Pompes d'injection de sécurité haute pression	
		Pompes d'aspersion d'enceinte connectées au circuit d'injection de sécurité	
		Pompes du circuit d'appoint en bore	
Pompes d'eau déminéralisée dégazée			

Stratégie	Objectifs	Moyens	Alimentations électriques
Réduction de la pression à l'intérieur de l'enceinte de confinement	Maintenir l'intégrité de l'enceinte de confinement	Pompes d'aspersion d'enceinte	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les générateurs diesel GDS
	Faciliter l'injection basse pression	Pompes d'injection de sécurité basse pression lignées sur le circuit d'aspersion d'enceinte	
	Prévenir l'explosion d'hydrogène	Recombineurs autocatalytiques	Passif

Tableau 18 : Stratégie de gestion d'accident grave et moyens mis en œuvre à la centrale de Doel

Stratégie	Objectifs	Moyens	Alimentations électriques
Dépressurisation du circuit primaire	Prévenir une rupture sous haute pression de la cuve Permettre l'injection basse pression	Vannes de décharge des générateurs de vapeur au condenseur	L'alimentation en courant alternatif n'est pas requise
		Vannes de décharge des générateurs de vapeur à l'atmosphère	
		Aspersion auxiliaire du pressuriseur	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les générateurs diesel de secours
		Aspersion d'ultime secours du pressuriseur	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les générateurs diesel de secours ou d'ultime secours
		Soupapes SEBIM (Doel 1/2)	Une alimentation en courant continu est nécessaire et secourue par des batteries et par les générateurs diesel de secours
		Vannes PORV (Doel 3 et Doel 4)	En plus du courant continu, de l'air comprimé est également nécessaire
		Vannes MORV (Doel 3 et Doel 4)	Du courant alternatif 380 V est nécessaire
Injection d'eau dans le circuit primaire	Éviter ou retarder la rupture de la cuve du réacteur Limiter les conséquences des interactions corium-béton dans le puits de cuve	Pompes d'injection de sécurité haute pression	L'alimentation en courant alternatif est secourue par des générateurs diesel de secours ou d'ultime secours
		Pompes d'injection de sécurité basse pression	L'alimentation en courant alternatif est secourue par des générateurs diesel de secours ou d'ultime secours
		Pompes d'appoint en eau d'ultime secours au circuit primaire (Doel 3 et Doel 4)	L'alimentation en courant alternatif est secourue par des générateurs diesel de secours ou d'ultime secours
		Pompes d'aspersion d'enceinte (Doel 3 et Doel 4)	L'alimentation en courant alternatif est secourue par des générateurs diesel de secours ou d'ultime secours
		Pompes de charge	L'alimentation en courant alternatif est secourue par des générateurs diesel de secours ou d'ultime secours
Injection d'eau dans le puits de cuve	Limiter les conséquences des interactions corium-béton dans le puits de cuve	Appoint gravitaire du RWST	Passif

Réduction de la pression à l'intérieur du bâtiment de confinement	Maintenir l'intégrité de l'enceinte de confinement	Pompes d'aspersion d'enceinte	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les générateurs diesel de secours ou d'ultime secours
		Pompes d'injection de sécurité basse pression	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les générateurs diesel de secours ou d'ultime secours
		Batteries de refroidissement de la ventilation du bâtiment réacteur	L'alimentation en courant alternatif est secourue par les générateurs diesel de secours ou d'ultime secours
		Évent du bâtiment réacteur (si aucune autre solution n'est possible)	
	Prévenir l'explosion d'hydrogène	Recombineurs autocatalytiques	Passif

6.4. Mesures de gestion d'accident destinées à réduire les rejets radioactifs

Avant d'appliquer les guides recommandant les stratégies suivantes, l'équipe de quart devra vérifier l'ensemble des chemins de rejet potentiels des produits de fission. L'application de ces stratégies implique également une surveillance à long terme des risques qui peuvent résulter de leur mise en œuvre.

6.4.1. Limitation des conséquences des rejets de produits de fission

Cette stratégie s'applique lorsque la libération de matières radioactives dans l'enceinte atteint un 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 mesures de limitation des conséquences identifiées dépendent de la provenance des rejets :

- pour les rejets en provenance de l'enceinte, les mesures identifiées sont :
 - l'aspersion dans le bâtiment réacteur,
 - la ventilation/filtration de l'espace annulaire,
 - et l'ajout de soude dans l'eau des puisards de l'enceinte (pour piéger l'iode) ;
- pour les rejets en provenance des générateurs de vapeur, les mesures identifiées sont :
 - le remplissage du générateur de vapeur avec de l'eau,
 - l'isolement et le relâchement de la vapeur du générateur de vapeur affecté vers le condenseur plutôt que vers l'atmosphère,
 - et d'autres mesures alternatives (comme l'aspersion de la vapeur relâchée avec des lances à incendie) ;
- pour les rejets en provenance du bâtiment des auxiliaires nucléaires, les mesures identifiées sont :
 - le fonctionnement des systèmes de ventilation/filtration,
 - en cas de défaillance des pénétrations d'enceinte, l'isolement des pénétrations d'enceinte à l'origine des rejets,
 - et en cas de fuite sur une des boucles de recirculation, la réduction du débit de recirculation dans la boucle en question, l'isolement de la boucle et l'utilisation d'autres boucles de recirculation.

6.4.2. Injection d'eau dans les générateurs de vapeur pour piéger les produits de fission s'échappant de tubes de générateurs de vapeur endommagés

Cette stratégie s'applique lorsque le niveau d'eau dans les générateurs de vapeur est inadéquat. Les mesures identifiées sont, lorsque la pression est élevée dans les générateurs de vapeur : les pompes d'eau alimentaire auxiliaires, les pompes d'eau alimentaire d'ultime secours et les pompes d'eau alimentaire normale.

Lorsque les générateurs de vapeur sont à basse pression, on utilise les pompes du circuit d'eau d'extraction et les pompes du circuit d'eau brute.

6.4.3. Injection d'eau dans le circuit primaire pour piéger les produits de fission relâchés par les 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 des circuits d'injection de sécurité haute et basse pression,
- les pompes du circuit d'aspersion d'enceinte,
- les pompes du circuit d'injection d'ultime secours,
- 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.

6.4.4. Injection d'eau dans l'enceinte de confinement

Cette stratégie a pour objectif de garantir un NPSH suffisant pour le passage en recirculation et d'assurer, de façon préventive, la présence d'une quantité d'eau suffisante dans l'enceinte pour piéger les produits de fission provenant des débris situés hors du puits de cuve. Elle s'applique lorsque le niveau d'eau dans les puisards de l'enceinte est trop bas.

Les moyens identifiés sont les pompes d'aspersion d'enceinte, les pompes d'injection de sécurité basse pression et l'ajout de soude à l'eau dans les puisards de l'enceinte de confinement.

6.4.5. Surveillance des conditions de l'enceinte de confinement

L'objectif de cette stratégie est de réduire la concentration en produits de fission et de piéger les produits de fission relâchés depuis l'enceinte. Elle 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 d'enceinte, les pompes d'injection de sécurité basse pression et l'ajout de soude à l'eau dans les puisards de l'enceinte de confinement.

6.4.6. Injection d'eau dans le puits de cuve

Cette stratégie a pour objectif de piéger les produits de fission relâchés par les débris situés dans le puits de cuve et dans la cuve. Elle 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 des circuits d'injection de sécurité haute et basse pression, les pompes d'injection d'ultime secours, les pompes d'aspersion d'enceinte, les pompes du circuit d'appoint en eau et bore et les pompes du circuit de contrôle volumétrique et chimique.

6.5. Mesures de gestion d'accident en cas de perte du refroidissement des piscines de combustible usé

L'objectif principal est d'éviter le découverture du combustible entreposé dans les piscines d'entreposage, soit en rétablissant un refroidissement actif des piscines, soit en assurant un appoint d'eau par tout moyen disponible (conventionnel ou non).

Même sans apport d'eau, le délai avant découverture du combustible se compte en jours pour les piscines de désactivation des unités de Doel et de Tihange, et en semaines pour le bâtiment d'entreposage intermédiaire DE à Tihange. Cela laisse un temps suffisant pour installer ou apporter un appoint d'eau alternatif, si tous les moyens classiques sont indisponibles.

6.5.1. Mesures de gestion d'accident actuelles

Centrale nucléaire de Tihange

Le refroidissement des piscines de désactivation des réacteurs est assuré par un circuit fermé (CTP) avec deux pompes et deux échangeurs.

Le refroidissement des piscines du bâtiment DE est assuré par un circuit fermé (STP) avec deux pompes et deux échangeurs.

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 fonction de refroidissement est reprise par permutation manuelle sur l'équipement de secours.

En cas de perte complète des alimentations électriques extérieures (LOOP) à Tihange 1, on procédera à un appoint gravitaire depuis un réservoir d'eau.

En cas de LOOP complet à Tihange 2 et/ou Tihange 3, les pompes de refroidissement CTP et STP sont réalimentées au départ des tableaux électriques 380 V secours du BUS, moyennant un raccordement adéquat (commutation dans les coffrets électriques). Les procédures de conduite en conditions accidentelles exigent systématiquement cette réalimentation. Dans les deux cas, l'alimentation électrique des pompes du CTP (et STP) est basculée sur les tableaux 380 V secours du second niveau.

En cas de perte complète de la source froide principale à Tihange 1, les échangeurs de refroidissement des piscines sont alimentés en eau de nappe conformément aux procédures de conduite en conditions accidentelles.

En cas de perte complète de la source froide principale à Tihange 2 et/ou Tihange 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 alternative (CRU/CEU) est demandé systématiquement lors de l'application des procédures mentionnées ci-dessus.

En cas de perte complète de la source froide principale des piscines du bâtiment DE, l'unité Tihange 3 est alimentée par le CEU (circuits d'eau ultime du second niveau) au moyen de flexibles. En cas de défaillance de l'alimentation CEU depuis Tihange 3, les puits de Tihange 2 peuvent être connectés au moyen de flexibles pour alimenter les échangeurs STP.

Tous ces éléments facilitent le refroidissement des piscines d'entreposage et préviennent leur ébullition, évitant ainsi la perte d'inventaire en eau associée.

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 via le circuit d'eau d'extinction d'incendie (CEI). Cette alimentation est également réalisable en cas de station black-out ou d'inondation. En outre, à Tihange 1, une pompe supplémentaire est disponible pour alimenter les piscines et fournir un

apport d'eau de refroidissement adéquat (CTP). Cette pompe, alimentée par le réseau électrique normal, peut être secourue par le générateur 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 bêche 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 d'alimentation non conventionnels (CMU).

Centrale nucléaire de Doel

Doel 1/2

Le circuit PL (pool loop) de la piscine de désactivation de Doel 1/2 est constitué de deux parties :

- une partie purification avec deux pompes, avec une alimentation électrique de premier niveau ;
- une partie refroidissement avec trois pompes et trois échangeurs de chaleur.

Les possibilités d'alimentation normale en eau des piscines PL sont les circuits MW et PL du WAB. En situation de crise, la réserve d'eau / le réservoir des RWST peuvent être utilisés. Une alimentation en eau FE est également envisageable.

En cas de séisme, le circuit FE du GNS est le circuit d'alimentation en eau garanti. L'alimentation est opérée à partir du bassin LU de Doel 3. Si nécessaire, une lance à incendie peut être utilisée pour relier le circuit FE dans le GNS aux piscines PL. Une lance à incendie suffit pour un débit de 13 tonnes par heure.

Doel 3 et Doel 4

Le circuit PL des piscines de désactivation de Doel 3 et Doel 4 est constitué de deux boucles. Chaque boucle est constituée d'une pompe et d'un échangeur de chaleur.

Une procédure incidentelle existe dans laquelle une seule pompe peut garantir le refroidissement PL au cas où l'autre pompe cesse de fonctionner quelle qu'en soit la raison (électrique ou mécanique). Une pompe de réserve est également présente, avec l'équipement d'accouplement nécessaire. La procédure incidentelle présente également des possibilités alternatives de refroidissement au cas où le refroidissement normal par l'échangeur ne serait pas disponible. Au cas où le réseau FE est intact, la procédure prescrit l'utilisation de flexibles FE. Au cas où le réseau FE aurait été isolé à la suite de signaux de sécurité, un point de connexion alternatif est proposé.

Une procédure incidentelle spécifique précise les actions à prendre en cas de baisse incontrôlée du niveau des piscines de désactivation. En première instance, les pompes destinées à la purification du circuit seront arrêtées. Il sera ainsi possible de localiser les fuites. Les possibilités d'appoint sont le circuit SI (à partir du RWST), MW et FE. Un apport en eau de 13 m³ par heure est suffisant pour compenser l'évaporation.

Une étude est menée de manière à permettre l'installation d'une conduite fixe pour l'alimentation alternative des piscines de désactivation de Doel 1/2, Doel 3 et Doel 4.

6.5.2. Effets falaises et timing

Piscines de désactivation des unités de Doel et Tihange

La perte du refroidissement actif d'une piscine de désactivation est un incident de nature lente et progressive. Les importants volumes d'eau, présents principalement pour la protection biologique, et la faible chaleur résiduelle (par rapport à celle présente dans le cœur) induisent des inerties considérables.

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 dans certains locaux avoisinants les rend inaccessibles pour une éventuelle

intervention sur place (par exemple pour réaliser un appoint d'eau 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 cette succession d'évènements consistent à assurer un apport d'eau aux piscines et à rétablir la convection forcée. Ces actions doivent être réalisées en tenant compte des conditions limitatives imposées par les différentes étapes, dont le timing est présenté dans le tableau suivant. Trois configurations initiales de l'unité concernée sont prises en compte : lors du fonctionnement normal en puissance, à la fin du déchargement complet du cœur lorsque les piscines du bâtiment réacteur et du bâtiment des auxiliaires nucléaires ne sont pas connectées (situation la plus pénalisante pour les piscines de désactivation), et à la fin du déchargement complet avec interconnexion entre les piscines du bâtiment réacteur et du bâtiment des auxiliaires nucléaires.

Tableau 19 : Timing des différentes étapes pendant la perte de refroidissement des piscines dans les unités de Tihange

Unité	Etape	Puissance	Déchargement sans connexion au bâtiment réacteur	Déchargement avec connexion au bâtiment réacteur
Tihange 1	Ébullition [heures]	40,7	10,2	10,2
	Perte de la protection biologique [jours]	13,0	3,7	5,8
	Découvrement [jours]	16,5	4,7	9,3
Tihange 2	Ébullition [heures]	24,6	7,8	7,8
	Perte de la protection biologique [jours]	4,2	1,5	3,6
	Découvrement [jours]	6,6	2,4	6,8
Tihange 3	Ébullition [heures]	30,8	9,2	9,2
	Perte de la protection biologique [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 combustibles après 2,4 jours sans appoint d'eau, dans le scénario le plus défavorable. Pour la majorité des situations, on dispose de plus de temps (environ une semaine, voire plus) pour les trois tranches.

Tableau 20 : Timing des différentes étapes pendant la perte de refroidissement des piscines dans les unités de Doel

Unité	Etape	Puissance	Déchargement sans connexion au bâtiment réacteur	Déchargement avec connexion au bâtiment réacteur
Doel 1/2	Ébullition [heures]	43	15	15
	Perte de la protection biologique [jours]	7	3	5
	Découvrement [jours]	11	4	9

Unité	Etape	Puissance	Déchargement sans connexion au bâtiment réacteur	Déchargement avec connexion au bâtiment réacteur
Doel 3	Ébullition [heures]	26	8	8
	Perte de la protection biologique [jours]	5	2	3
	Découvrement [jours]	8	3	5
Doel 4	Ébullition [heures]	34	10	10
	Perte de la protection biologique [jours]	7	3	3
	Découvrement [jours]	11	3	6

La plus forte corrélation entre la puissance résiduelle et le volume d'eau dans les piscines se rencontre à Doel 3. Cela signifie qu'un apport d'eau doit être réalisé après une période de trois jours – dans la configuration la plus pénalisante – pour empêcher le découvrement des assemblages de combustible usé.

Bâtiment DE (Tihange)

La perte du refroidissement actif des piscines de combustible usé dans le bâtiment DE est un processus lent et progressif. Les importants volumes d'eau, présents principalement pour la protection biologique, et les faibles puissances résiduelles (en comparaison avec le cœur) induisent une inertie considérable.

Le timing présenté dans le tableau suivant représente le cas conservatif où tous les assemblages présents auraient la chaleur résiduelle maximale permise.

Tableau 21 : Timing des différentes étapes pendant la perte de refroidissement des piscines dans le bâtiment DE

Unité	Stade	Temps
Bâtiment DE	Ébullition [heures]	102
	Perte de la protection biologique [jours]	16,6
	Découvrement [jours]	24,1

L'inertie très importante (au moins trois semaines) permet de mettre en place les mesures nécessaires pour éviter la perte de refroidissement des assemblages entreposés dans le bâtiment DE.

Bâtiment des conteneurs de combustible usé (Doel)

Le combustible usé présent dans le bâtiment des conteneurs de combustible usé (SCG) est entreposé dans des conteneurs de transport résistant à des conditions extrêmes. Conjointement avec le bâtiment d'entreposage, les conteneurs fournissent la protection biologique nécessaire et, en circonstances normales, une évacuation de chaleur efficace.

Les effets falaises qui pourraient mener à un endommagement des combustibles et à des conséquences radiologiques hors conception sont le résultat d'une surchauffe du combustible nucléaire due à un refroidissement insuffisant et/ou à la défaillance de l'étanchéité du conteneur au niveau du double joint du couvercle primaire. La perte de la résine neutrophage des conteneurs et/ou de la protection biologique du bâtiment n'entraînera aucune dégradation du combustible nucléaire. Les conséquences radiologiques ne sont jamais inacceptables.

Les conteneurs de combustible usé présentent une résistance au feu de 60 minutes, par exemple en cas d'écrasement d'un avion. Dans l'accident de conception, le feu s'éteindra spontanément parce qu'il est exclu que le conteneur métallique brûle. En cas d'incendie hors conception, des marges considérables sont prévues au niveau du point le plus faible, à savoir les joints primaires.

6.5.3. Instrumentation nécessaire pour surveiller le combustible et pour gérer l'accident

Centrale nucléaire de Tihange

Toutes les piscines sont équipées de capteurs de niveaux donnant une alarme 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 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 également déclenchée en salle de conduite.

Concernant l'alimentation électrique, ces mesures sont normalement alimentées par des tableaux non classés, mais secourus par les générateurs diesel du premier niveau et dotées de batteries capables de pallier des pertes de courant pouvant durer jusqu'à 3 heures.

Dans le cadre des révisions périodiques de sûreté, une instrumentation complémentaire de mesure du niveau, résistante aux conditions accidentelles, est proposée pour les piscines.

Centrale nucléaire de Doel

Doel 1/2

Les deux piscines de désactivation présentes dans le GNH sont équipées de deux dispositifs de mesure de température et de deux dispositifs de mesure de niveau. Pour chaque mesure, un des deux dispositifs est alimenté par le circuit d'alimentation électrique de premier niveau, et l'autre, par le circuit d'alimentation électrique de second niveau.

Des équipements de mesure de la radioactivité ambiante sont présents à proximité des piscines, mais ils n'ont pas de fonction de sûreté. L'instrumentation de mesure de la radioactivité à la cheminée du GNH a en revanche une fonction de sûreté. Les mesures de radioactivité à la cheminée du GNH déclenchent la filtration des rejets radioactifs.

Une ventilation locale est présente au-dessus des piscines, mais elle n'a pas de fonction de sûreté. La ventilation du GNH, le bâtiment qui abrite les piscines, est la ventilation de sûreté pour la piscine.

Doel 3 et Doel 4

Le SPG abrite deux piscines de désactivation. Toutes deux sont équipées de deux dispositifs de mesure de température et de deux dispositifs de mesure de niveau. Chaque dispositif de mesure est alimenté par l'alimentation électrique de second niveau depuis le bunker.

La ventilation du bâtiment des piscines de désactivation est un circuit de sûreté constitué de deux trains redondants. Les filtres sont mis en fonction en cas de détection de présence de gaz nobles radioactifs par des équipements de mesure qualifiés et redondants. Deux équipements de mesure de la radioactivité ambiante sont présents à proximité des piscines de SPG ; ils peuvent être consultés à partir des salles de conduite.

6.5.4. Accumulation d'hydrogène

Pour évaluer le risque d'accumulation d'hydrogène dans les bâtiments des piscines de désactivation, il est nécessaire d'estimer le débit de production de ce gaz. Deux sources de production d'hydrogène ont été identifiées :

- l'oxydation des gaines du combustible en zirconium par la vapeur d'eau, après découverture des assemblages ;
- la radiolyse de l'eau dans les piscines suite aux rayonnements émis par les assemblages. Cette production d'hydrogène existe également en conditions normales. En circonstances accidentelles, cette production peut, à long terme, mener à une accumulation importante si la ventilation du bâtiment est indisponible.

Trois conclusions principales peuvent en être tirées :

- 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. Le délai 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 de Tihange. Pour le bâtiment DE, un appoint de 5,1 m³/h est suffisant. Un appoint en eau de 13 m³/h est toujours suffisant pour compenser l'évaporation des piscines de toutes les unités de Doel ;
- le système de ventilation doit assurer un renouvellement permanent de l'air dans les bâtiments des piscines de désactivation. Si ce système est indisponible, de 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, la limite d'explosivité peut être atteinte 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 entraînant la perte totale de refroidissement dans les piscines est limité. Le rétablissement des systèmes de ventilation et les moyens disponibles pour approvisionner les piscines en eau permettent d'écarter le risque d'accumulation d'hydrogène.

Une étude complémentaire sera cependant lancée afin d'évaluer le risque résiduel d'accumulation d'hydrogène.

6.5.5. Adéquation des mesures de gestion actuelles et dispositions additionnelles possibles

Centrale nucléaire de Tihange

Sans refroidissement actif des piscines, la chaleur est évacuée par la ventilation d'extraction de la zone des piscines via le système de filtration placé sur l'extraction des halls.

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 sont surveillées par les mesures des chaînes de radioprotection situées dans les halls des piscines et sur le système de ventilation au niveau de la cheminée de rejet.

Les instructions en cas de perte de l'inventaire d'eau dans les piscines sont incluses dans la procédure de manutention du combustible. S'y trouvent également des instructions en cas de problèmes lors des manutentions d'assemblages combustibles.

Centrale nucléaire de Doel

Doel 1/2

Les mesures en situation d'accident grave ne sont pas différentes des mesures avant accident. L'objectif est toujours d'éviter l'endommagement du combustible en assurant l'alimentation et le refroidissement des piscines. Le refroidissement de la piscine de désactivation du GNH peut être réalisé de plusieurs manières.

Une ventilation est présente au-dessus des piscines de désactivation, mais elle n'a pas de fonction de sûreté. La ventilation de sûreté des piscines est la ventilation du bâtiment GNH, menant à la cheminée du GNH. Des filtres sont présents, mais ils ne peuvent capturer la radioactivité que si l'humidité de l'air amené peut être limitée.

Une procédure spécifique est également prévue avec des directives relatives à une baisse incontrôlée du niveau d'une piscine de désactivation. Cette procédure décrit la manière dont les membres du personnel peuvent se mettre en sécurité et le déroulement de la préparation d'une possible intervention dans les piscines.

Des cavités fonctionnelles sont présentes dans les parois des piscines pour détecter des fissures dans la peau d'étanchéité. Ces orifices peuvent être scellés préventivement.

Doel 3 et Doel 4

La zone des piscines de désactivation est ventilée par la partie du VF classée de sûreté, constituée de deux trains redondants équipés de filtres destinés à être utilisés après détection de radioactivité par les chaînes de mesures.

Le taux d'humidité doit être géré pour que les filtres puissent fonctionner de manière efficace. L'air extrait est conduit à une cheminée où une chaîne de mesures enregistre les rejets.

6.5.6. Retour à un état stable et contrôlé

Le retour vers un état stable et contrôlé, après la perte prolongée du refroidissement des piscines, consiste 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 compensant 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.

6.6. Synthèse des principaux résultats présentés par l'exploitant

Sur la base des informations présentées dans les rapports de l'exploitant et des renseignements complémentaires fournis par l'exploitant lors des réunions techniques et des inspections sur site, les principaux résultats concernant le thème de la gestion des accidents graves sont les suivants.

L'exploitant a abordé un grand nombre de stratégies et de mesures (moyens et procédures) de gestion d'accident grave, avec une description de leur état actuel et une proposition de mesures complémentaires potentielles.

Les résultats des évaluations ont réaffirmé le besoin de sources d'alimentation en électricité et en eau disponibles à tout moment et en toutes circonstances afin de garantir le refroidissement du combustible nucléaire. A cette fin, l'exploitant s'appuie sur l'introduction de nouveaux moyens de sûreté (« moyens non conventionnels ») et le renforcement de son organisation de crise.

Les nouveaux moyens de secours prévus par l'exploitant comprennent, entre autres, des générateurs diesel mobiles, des pompes mobiles, des câbles électriques et des flexibles pour connection à diverses sources et circuits d'eau. L'exploitant souligne qu'un certain nombre de ces moyens non conventionnels ont été livrés peu après l'accident de Fukushima et sont déjà disponibles sur le terrain. De plus, certaines boucles du réseau d'extinction incendie seront renforcées pour améliorer leur résistance à un séisme, afin de pouvoir les utiliser pour réalimenter en eau certains circuits de sûreté si nécessaire.

Concernant l'organisation de crise, l'exploitant a défini trois niveaux opérationnels afin de mieux gérer les événements multi-unités :

- le mode « Standard », avec une seule unité concernée ; dans ce cas, l'organisation actuelle du plan interne d'urgence reste applicable ;
- le mode « Alerte », lorsqu'une situation de crise prévisible est susceptible d'affecter plusieurs unités (exemple : inondation de grande ampleur) ; dans ce cas, les cadres d'astreinte et certains supports techniques seront toujours prêts en attente sur le site ; l'organisation détaillée du mode « Alerte » est en cours ;
- le mode « Haut », lorsqu'une situation de crise non prévisible affecte soudainement plusieurs unités en même temps sur le même site (exemple : séisme) ; l'organisation détaillée du mode « Haut » est en cours.

La mise en œuvre complète de la nouvelle organisation de crise sera effective en 2013.

Dans le même temps, l'actuel centre opérationnel de site (COS) à Tihange déménagera dans un bâtiment classé sismique, équipé d'une alimentation électrique secourue et d'un circuit de ventilation doté de pièges à charbon actif afin de protéger le personnel contre l'iode.

En parallèle, l'exploitant prévoit de lancer des études complémentaires sur les aspects suivants :

- l'installation d'évents filtrés sur l'enceinte de confinement de chaque unité sur les deux sites : ces dispositifs permettraient de filtrer efficacement les rejets atmosphériques au cas où une décompression du bâtiment réacteur serait nécessaire après un accident grave ;
- l'évaluation du risque résiduel d'accumulation d'hydrogène dans les bâtiments des piscines de désactivation : l'objectif est d'évaluer, dans les différents scénarios accidentels considérés, la possibilité que l'hydrogène produit dans les piscines de désactivation atteigne une concentration dangereuse.

Enfin, l'exploitant continuera de suivre les travaux de recherche et développement au niveau international sur la limitation des interactions corium/béton dans le puits de cuve.

6.7. Evaluation et conclusions de l'Autorité de sûreté

L'approche adoptée par l'exploitant pour réévaluer la gestion des accidents graves est conforme à la méthodologie fournie par l'exploitant et approuvée par l'Autorité de sûreté.

Les améliorations proposées par l'exploitant, particulièrement en termes de moyens de sûreté supplémentaires et d'organisation de crise, améliorera la capacité de réaction des centrales et augmentera plus encore leur aptitude à limiter les conséquences potentielles d'un accident grave.

Sur la base de l'évaluation des rapports de l'exploitant ainsi que des réunions techniques et inspections sur site qui ont suivi, l'Autorité de sûreté a identifié des demandes et recommandations supplémentaires destinées à améliorer davantage la gestion des situations de crise.

1. L'adéquation des directives procédurales (procédures BK pour Doel et guides de gestion des accidents graves (SAMG) pour Tihange) pour faire face à un accident grave a été évaluée par l'exploitant principalement sur la base du fait que ces procédures sont inspirées des Westinghouse Owners Group Severe Accident Management Guidelines (« WOG SAMG »), qu'elles sont régulièrement mises à jour et qu'elles sont validées dans le cadre des révisions périodiques de sûreté (décennales).
Cependant, ces procédures doivent encore être améliorées sur les aspects suivants :
 - les procédures BK de Doel devraient être complétées par des directives de surveillance à long terme et de sortie, comme cela existe déjà à Tihange (SAEG-1 et SAEG-2) ;
 - certaines procédures BK de Doel font référence à des procédures FRG (distinctes) pour l'explication des méthodes recommandées. Ce passage constant d'un jeu de procédures à un autre devrait être évité, et les procédures BK devraient donc être davantage autoportantes et contenir toutes les informations nécessaires à leur application ;
 - un outil de calcul du pH dans l'enceinte devrait être ajouté aux procédures BK/SAMG afin de déterminer l'acidité de l'eau du puisard à partir des volumes et quantités d'eau utilisés durant la gestion de l'accident, compte tenu de tous les autres processus physiques et chimiques influençant le pH ; cet outil serait également utilisé comme moyen de contrôle et de secours pour un système d'échantillonnage dédié ;
 - un outil d'aide à la prise de décision (tableau/flowchart) devrait être ajouté aux procédures BK/SAMG afin d'identifier rapidement l'endroit (le plus probable) d'un chemin de fuite dans l'enceinte sur la base des indications de certains détecteurs, et de déterminer les actions les plus appropriées pour limiter la dispersion des produits de fission. Cette approche pourrait impliquer le déploiement de détecteurs mobiles à des endroits spécifiques ;
 - les procédures BK devraient fournir des critères quantitatifs pour les paramètres clés sélectionnés afin de permettre un arbitrage rapide entre l'évacuation de la chaleur résiduelle et l'isolement d'une fuite dans les lignes de recirculation ;
 - un outil d'aide à la prise de décision devrait être ajouté aux procédures BK afin de permettre un arbitrage entre une injection dans le circuit primaire et une aspersion dans le bâtiment réacteur.
2. Autant que possible, l'exploitant devrait envisager d'augmenter la cohérence des programmes de formation et de recyclage aux situations de crise des centrales de Tihange et de Doel (différents en termes de durée et de fréquence)
3. Pour la centrale de Doel, l'exploitant indique que la probabilité d'une explosion de vapeur lorsque du corium tombe de la cuve du réacteur dans un puits inondé est très faible et peut donc être négligée, sur la base de plusieurs expériences effectuées dans le cadre de programmes internationaux de recherche qui ont été incapables de créer ce phénomène. Pour la centrale de Tihange (où le puits de cuve n'est pas inondé avant la rupture de la cuve), l'exploitant indique qu'une étude de faisabilité d'un système permettant une injection d'eau dans le puits de la cuve sera lancée.
Cependant, l'exploitant devrait suivre de près les expériences en cours en matière d'explosion

de vapeur. Si nécessaire, les actuelles stratégies d'inondation du puits de la cuve avant la rupture de la cuve devront être adaptées.

4. L'exploitant devrait également évaluer la nécessité d'installer de nouveaux appareils qui pourraient être utiles pour la gestion d'accidents graves (mesure du pH dans les puisards, mesures de température au fond de la cuve du réacteur afin de surveiller une éventuelle fusion du cœur).
Les modifications matérielles associées destinées à améliorer ces aspects devraient être recherchées le cas échéant.
5. L'exploitant devrait identifier les moyens efficaces pour contrôler le pH à l'intérieur de l'enceinte après un accident grave. Cette exigence s'applique dans les phases précoces de l'accident, ainsi que durant la phase à long terme.
Pour la gestion de la phase à long terme d'un accident grave, l'exploitant devrait prendre en considération l'impact d'autres actions de gestion d'accident grave sur la possibilité de remplir le réservoir de soude et la possibilité d'avoir recours à d'autres mesures que l'injection de fluide à base de soude en vue d'influencer le pH de l'eau du puisard dans la direction alcaline.
6. Pour diversifier plus encore les stratégies disponibles de gestion d'accidents graves, une stratégie de délestage optimal des batteries (destinée à allonger autant que possible la durée de vie des batteries et donc la période de disponibilité des équipements vitaux pour la gestion d'un accident grave) devrait être développée et ajoutée aux procédures ERG (prévention des accidents graves) et BK/SAMG (limitation des conséquences des accidents graves).
Un outil de calcul et d'aide à la prise de décision devrait être étudié en parallèle pour déterminer les charges qui peuvent être déconnectées, le gain d'autonomie des batteries obtenu par la déconnexion d'une charge spécifique, les fonctions de gestion d'accident grave perdues suite à la déconnexion d'une charge spécifique, et les alternatives qui pourraient être prises en compte pour compenser (partiellement) la perte de chaque fonction de gestion d'accident grave.
7. L'exploitant devrait revoir les spécifications techniques des centrales de façon à améliorer davantage la disponibilité des équipements de secours de second niveau. En particulier, les durées maximales d'indisponibilité et les délais de remise en service devraient être réévalués et justifiés étant donné les risques en jeu.
8. L'exploitant devrait considérer les moyens supplémentaires (y compris les moyens non conventionnels) comme des équipements de sûreté dans la mesure où ils jouent un rôle-clé dans la prévention, la détection et/ou la limitation des conséquences d'un accident grave (défense en profondeur). Dans ce contexte, l'exploitant devra déterminer les dispositions spécifiques applicables à ces équipements (intégration aux spécifications techniques, inspections et essais, maintenance préventive...).

7. Conclusions générales

7.1. Principaux résultats et améliorations proposées par l'exploitant sur le plan de la sûreté

Les résultats des évaluations sont détaillés dans les chapitres précédents de ce rapport. Ils sont synthétisés dans les paragraphes suivants. Les 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 ;
- modifications de l'organisation (ressources, 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 montré que les installations des centrales nucléaires de Doel et de Tihange sont capables de maintenir leurs fonctions essentielles de sûreté, soit à l'aide des équipements et systèmes redondants et diversifiés prévus à la conception des installations, soit en utilisant des moyens mobiles déployés sur les sites. Pour quelques cas, des actions d'amélioration complémentaires ont été proposées afin d'augmenter plus encore la robustesse des installations face à des situations improbables au vu de la diversité des sources d'eau et de puissance électrique déjà existantes sur les deux sites.

Ces évaluations montrent que les installations sont suffisamment robustes pour faire face à des situations extrêmes, compte tenu des nombreuses lignes de défense et des moyens mobiles qui ont été déployés et mis en place peu après l'accident de Fukushima.

Ces évaluations montrent également qu'aucun moyen matériel extérieur n'est requis dans les premiers jours après la survenance des situations considérées, dans la mesure où les équipements techniques nécessaires sont tous présents sur le site.

7.1.1. Séismes

En ce qui concerne l'adéquation du séisme de conception (DBE), une première évaluation du risque sismique a été entreprise par l'Observatoire Royal de Belgique.

Pour la centrale de Doel, les résultats obtenus demeurent conformes aux valeurs prises en compte à la conception des quatre unités.

Pour la centrale de Tihange, cette évaluation conduit à une légère augmentation de l'accélération maximale en surface (PGA), en comparaison avec la valeur prise en compte pour le dimensionnement des unités. L'étude doit encore 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 de sécurité dont disposent les unités de Doel et de Tihange a été effectuée sur base d'un « Review Level Earthquake » représentant 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 stable et contrôlé 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). La nécessité de renforcer le bâtiment des auxiliaires électriques de Tihange 1 est en cours d'examen.

Enfin, la rupture éventuelle d'un réservoir ou d'une canalisation d'eau présents sur le site consécutive à un séisme n'aurait aucune conséquence en matière de sûreté.

7.1.2. Inondations

Centrale nucléaire de Tihange

La crue de conception initiale (crue de 1926 majorée de 20 %, correspondant à un débit de 2 200 m³/s) a été réévaluée dans le cadre de la dernière révision périodique de sûreté.

Avec une altitude de 71,50 m, le site de Tihange est protégé contre la nouvelle crue de conception (2 615 m³/s avec une période de retour de 200 ans), dans la mesure où la cote maximale du fleuve serait 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 désormais tenu compte d'une crue dont la période de retour est de 10 000 ans (« crue décennale »). L'étude qui correspond à ces nouvelles conditions a montré que malgré le débordement progressif de la Meuse qui en résulterait, les systèmes existants de la centrale assureraient 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 et ressources complémentaires, combinés 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. La mise en œuvre du plan d'action défini dans le cadre de la dernière révision périodique de sûreté, permettant de garantir un site « sec » pour cette crue décennale, a été accélérée. Ce plan prévoit une protection périphérique (volumétrique) du site, des protections périmétriques locales de certains bâtiments et des moyens non conventionnels renforcés.

Par ailleurs, l'impact de la rupture éventuelle du barrage amont sur la Meuse et 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.

Centrale nucléaire de Doel

Dans la base de conception de la centrale nucléaire de Doel, la crue de conception avait initialement été fixée à 9,13 mètres DNG (« deuxième nivellement général »), qui est le niveau de référence utilisé pour exprimer l'altitude topologique en Belgique. Le niveau 0 mètre DNG correspond au niveau moyen de la mer à marée basse à Ostende.

Cette crue de conception a une période de retour de 10 000 ans. Cette valeur de crue a récemment été réévaluée dans le cadre de la révision décennale de sûreté et légèrement relevée à 9,35 mètres DNG. Notons également que la cote maximale de l'Escaut jamais enregistrée en Belgique a atteint 8,10 mètres DNG.

La conception du site de la centrale nucléaire de Doel comprend deux importants dispositifs de protection contre l'inondation. Le premier concerne la digue bordant le fleuve à hauteur du site qui a été rehaussée à 12,08 mètres DNG et qui doit, en toutes circonstances, être supérieure à 11,08 mètres. Le second a trait au relèvement du niveau de la plateforme du site par rapport aux polders environnants : à sa conception, la plateforme du site a été située à une altitude de 8,86 mètres DNG, c'est-à-dire quelques mètres plus haut que les polders alentour.

Ces mesures protègent les unités et leurs systèmes de sûreté contre une crue décennale.

Dans le cadre des révisions périodiques de sûreté, différents scénarios théoriques de tempête ont été combinés à des crues dont la hauteur pourrait engendrer des vagues hautes susceptibles de déferler par-dessus la digue de l'Escaut pour des périodes de retour comprises entre 1 000 et 10 000 ans.

De plus, une situation hors conception a été examinée. Ce scénario porte le niveau de l'Escaut 85 cm au-dessus de la crue de conception et le combine à une brèche hypothétique de la digue en son point le plus pénalisant. L'inondation du site qui résulterait de cet exercice théorique ainsi que du déferlement des vagues par-dessus la digue pourrait être maîtrisée en installant aux entrées des bâtiments de sûreté une protection périmétrique d'une hauteur de quelques dizaines de centimètres.

De surcroît, le système d'avertissement de crue permet toujours à la centrale de Doel de prendre les mesures préventives adéquates étant donné la lenteur du développement de ce type de phénomènes naturels.

7.1.3. Conditions météorologiques extrêmes

Les diverses conditions météorologiques extrêmes (fortes pluies, vents violents, tornades, foudre, chutes de neige, grêle et températures extrêmes), pris en compte à la conception des installations et vérifiés lors des révisions périodiques de sûreté, sont sans conséquence sur la sûreté de l'exploitation des unités.

7.1.4. Perte des alimentations électriques ou des sources froides

Centrale nucléaire de Tihange

Compte tenu des multiples sources externes et internes d'alimentation électrique et des sources froides disponibles, les unités de la centrale de Tihange présentent un haut niveau de robustesse en la matière. En effet, chaque unité dispose :

- de trois sources d'alimentation électrique 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 générateurs diesel 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, etc. certains étant 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 des piscines de combustible usé peut être assuré avec un haut degré de certitude, même dans les cas très hypothétiques de perte des sources d'alimentation électrique ou des sources froides. Il en résulte que, pour ces scénarios extrêmes, le risque d'un important rejet d'activité est négligeable. En conclusion, le site dispose de moyens de secours et d'une autonomie suffisante pour gérer ce type d'accident pendant une durée suffisamment longue. Cette durée est suffisante pour rétablir l'alimentation électrique externe ou pour acheminer sur le site des ressources externes.

Centrale nucléaire de Doel

Les unités Doel 1/2 disposent de trois sources froides indépendantes, chacune capable d'assurer de manière autonome le refroidissement des unités :

- l'Escaut ;
- les tours de refroidissement à tirage forcé ;
- les échangeurs de chaleur refroidis par l'air ambiant.

Par analogie, les unités de Doel 3 et 4 disposent également de sources froides indépendantes, chacune capable d'assurer de manière autonome le refroidissement des unités :

- les tours de refroidissement à tirage forcé, alimentées par l'Escaut et les bassins de refroidissement ;
- 3 bassins de refroidissement d'une capacité individuelle de 30 000 m³.

Chaque unité dispose également de deux niveaux d'alimentation électrique internes. Ces deux niveaux fonctionnent indépendamment l'un de l'autre et sont principalement séparés physiquement. Pour

l'alimentation électrique des équipements de sûreté, le site dispose de 19 générateurs diesel et d'un stock de fuel permettant une autonomie totale de plusieurs semaines.

En outre, la plupart des générateurs diesel sont refroidis par air, ce qui les rend indépendants d'une source froide extérieure.

Finalement, chaque unité dispose également d'une pompe actionnée par une turbine à vapeur, afin de maintenir l'injection d'eau de refroidissement dans les générateurs de vapeur. Cette eau de refroidissement est disponible dans plusieurs réservoirs et dans les bassins de refroidissement.

Pour les deux sites

Néanmoins, des mesures sont considérées pour augmenter davantage la robustesse des installations sur les deux sites, en particulier en renforçant les alimentations en électricité et en eau par les actions suivantes :

- des études de faisabilité pour augmenter l'autonomie de la bache EAS, pour ajouter une pompe d'eau alimentaire de secours et pour sécuriser l'alimentation électrique des pompes CTP et RRA à Tihange 1 ;
- une étude sur la mise en place de dispositifs de mesure supplémentaires du niveau d'eau en piscines sur le site de Tihange ;
- le renforcement des moyens non conventionnels utilisés pour recharger les batteries et réalimenter certains équipements (pompes, compresseurs, vannes) ;
- la rédaction ou la modification de procédures (réalimentation des équipements par des moyens non conventionnels, gestion des piscines de combustible usé, minimisation de la consommation de fuel par les générateurs diesel en cas de perte prolongée des alimentations extérieures...);
- l'installation des embouts nécessaires sur l'aspiration et sur le refoulement des pompes d'aspersion en vue d'obtenir une nouvelle possibilité d'aspersion par raccordement d'une pompe d'aspersion mobile, sur les unités de Doel 3 et Doel 4.

7.1.5. 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 et pour gérer les événements d'origine externe inclus dans la base de conception. Cette organisation est régulièrement testée et améliorée à travers des exercices. Cette organisation s'appuie également sur des moyens et compétences externes fournies par le niveau Corporate d'Electrabel, par Tractebel Engineering, ainsi que par les autorités publiques.

Suite à l'accident de Fukushima, l'exploitant a réévalué 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 et qui pourrait rendre indisponible une partie de l'infrastructure de gestion 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 Centre Opérationnel de Site (COS) à Tihange sera déplacé vers un local situé au sous-sol du nouveau bâtiment des accès, résistant au séisme DBE et équipé de toute l'infrastructure requise ;
- une étude de modification et de renforcement de l'organisation de crise sera lancée pour pouvoir fonctionner sur base de trois niveaux d'alerte :
 - un niveau « Standard » (organisation actuelle),
 - un niveau « Alerte » (mesures préventives en cas d'événement prévisible, tel que l'inondation, pouvant affecter tout le site),
 - un niveau « 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 Corporate 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 fournir les ressources humaines pour assister les équipes du site.

- une étude d'optimisation des moyens mobiles et de leur infrastructure de stockage sera réalisée sur base également de l'analyse des « extensive damage mitigation guidelines » (EDMG).
- la centrale nucléaire de Doel établira un centre opérationnel en dehors du site à partir duquel les interventions sur le site pourront être gérées lorsque l'accès au site s'avère difficile.

De même, les scénarios d'accident grave ont été réexaminés dans une optique de défense en profondeur, afin d'identifier les actions susceptibles de réduire davantage le risque des rejets éventuels dans l'environnement résultant d'une situation extrême. La prévention reste toutefois privilégiée.

Dans ce cadre les actions suivantes seront initiées ou poursuivies :

- étude de faisabilité de l'installation d'un évent filtré sur l'enceinte de confinement de chaque unité ;
- évaluation du risque résiduel de production et d'accumulation d'hydrogène dans les bâtiments des piscines de désactivation ;
- suivi des activités de R&D relatives à la problématique de l'interaction corium-béton.

7.1.6. Plan d'action

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 mise en œuvre sur site.

Le tableau ci-dessous reprend toutes les actions principales définies par l'exploitant ainsi que les échéances de réalisation. Certaines actions seront terminées en 2012 (actions à court terme).

Tableau 22 : Plan d'action synthétique

	Objectifs	Sites concernés	Actions	Echéances indicatives
1	Renforcement de la protection contre les agressions externes (séisme, inondation, conditions climatiques)	Tihange + Doel	Reclassement des SSC de « low » en « medium » par calcul ou modification	2012-2013
		Tihange	Evaluation de l'opportunité de renforcer le Bâtiment des auxiliaires électriques (BAE) de Tihange 1	2012
		Doel	Qualification sismique des réservoirs d'eau de réapprovisionnement (RWST) sur les unités Doel 1/2	2014
		Doel	Augmentation de la fiabilité de l'approvisionnement en eau des générateurs de vapeur des unités Doel 1/2 en cas de séisme (démarrage automatique des pompes d'eau alimentaire de secours)	Projet LTO
		Tihange	Révision de la crue de conception du site de Tihange suite à la révision périodique de sûreté	2012
		Tihange	Accélération des actions résultant de la révision périodique de sûreté : 1) Protection périphérique du site 2) Protection périmétrique locale 3) Renforcement des moyens / ressources non conventionnels	2014 2012-2013 2011-2012
		Doel	Protection périmétrique des bâtiments de sûreté contre l'inondation	2012-2013
		Doel	Renforcement complémentaire de la digue	2012
2	Amélioration des alimentations électriques	Tihange + Doel	Alimentation complémentaire (380 V) des moyens non conventionnels ou des équipements de sûreté (compresseurs, pompes, vannes...), au moyen de connecteurs et câbles adaptés ou via les tableaux électriques existants	2012

	Objectifs	Sites concernés	Actions	Echéances indicatives
		Tihange	Etude de faisabilité concernant la réalimentation des pompes CTP et RRA par le SUR sur l'unité de Tihange 1	Projet LTO
		Tihange + Doel	Alimentation complémentaire (380 V) des redresseurs, au moyen de connecteurs et câbles adaptés ou via les tableaux électriques existants	2011-2012
		Tihange + Doel	Etablissement d'une procédure pour minimiser la consommation de fuel des générateurs diesel en arrêtant les équipements non essentiels.	2012
		Doel	Acquisition d'un camion-citerne pour le transport de gazole sur le site et identification des connecteurs nécessaires	2012
3	Amélioration des alimentations en eau	Tihange	Etude de faisabilité pour l'amélioration de l'autonomie de la bache d'eau alimentaire de secours (EAS) à Tihange 1	Projet LTO
		Tihange	Etude de faisabilité pour l'ajout d'une pompe d'eau alimentaire de secours sur Tihange 1	Projet LTO
		Doel	Etude d'alternatives pour alimenter les réservoirs d'eau de sûreté (tours de refroidissement RW et RN, AFW) y compris les connecteurs supplémentaires si nécessaires	2012-2013
		Doel	Installation de vannes sur les lignes d'aspersion SP de Doel 1/2 pour permettre l'injection d'eau dans le circuit de refroidissement à l'arrêt au moyen des pompes SP en cas d'augmentation de la pression dans le circuit primaire	2014
		Doel	Installation de connecteurs sur les conduites d'aspiration et de refoulement des pompes SP et acquisition d'une pompe mobile pour disposer d'un moyen complémentaire de mouvement d'eau à Doel 3 et Doel 4	2014
		Doel	Etude d'alternatives pour alimenter en eau les piscines de désactivation du combustible usé, y compris les connecteurs supplémentaires éventuellement nécessaires	2012-2013
		Doel	Qualification sismique de certaines parties du circuit d'incendie (FE) à Doel 1/2 et installation de connecteurs à l'aspiration (directement ou via le réservoir AFW) de la turbopompe auxiliaire d'eau alimentaire	Projet LTO
4	Amélioration de la conduite (procédures)	Tihange	Modification de la procédure « Séisme » pour accélérer la détection d'une inondation induite sur le site	2012
		Tihange	Accélération de la mise en place des procédures associées aux actions résultant de la révision périodique de sûreté sur le thème « inondation ».	2012-2013
		Tihange + Doel	Établissement d'une procédure décrivant les actions à prendre en cas : 1. de perte totale des alimentations électriques internes ou externes 2. de perte totale des sources froides	2012-2013
		Tihange + Doel	Établissement d'une procédure pour l'alignement et la mise en service des alimentations électriques complémentaires	2012-2013
		Doel	Finalisation des procédures pour l'alignement et l'utilisation des alimentations alternatives en eau	2012-2013
5	Amélioration de la gestion de crise (PIU)	Tihange + Doel	Amélioration 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) mise en œuvre de la nouvelle organisation	Mi-2012 2013
		Tihange	Transfert du Centre Opérationnel de Site « COS » vers le nouveau bâtiment des accès	2013

	Objectifs	Sites concernés	Actions	Echéances indicatives
6	Amélioration de la protection contre les accidents graves (SAM)	Tihange + Doel	Etude préliminaire de l'installation d'un évent filtré sur chaque unité (déjà inclus dans le projet LTO pour Tihange 1 et Doel 1/2)	2012
		Tihange + Doel	Evaluation de la nécessité d'étendre les moyens non conventionnels sur base de l'analyse des EDMG (Extensive Damage Mitigation Guidelines)	2013
		Tihange + Doel	Evaluation du risque résiduel de production et d'accumulation d'H ₂ dans les bâtiments des piscines de combustible usé	2012
		Tihange	Etude de faisabilité pour la mise en œuvre d'un moyen supplémentaire d'injection d'eau vers le puits de cuve	2013
		Tihange + Doel	Suivi des activités de R&D relatives à la problématique de l'interaction corium-béton	continu
		Tihange	Etude pour l'amélioration de la surveillance du niveau des piscines sur toutes les unités	2012
7	Moyens non conventionnels (« MNC »)	Tihange	Etude de faisabilité d'une solution technique pour assurer l'appoint au circuit primaire de l'unité de Tihange 3 en configuration « CRP ouvert » (motopompe actionnée par un générateur diesel non conventionnel)	2012

7.2. Synthèse de l'évaluation et améliorations supplémentaires demandées par l'Autorité de sûreté

L'approche suivie par l'exploitant pour réévaluer la sûreté de ses installations est conforme à la méthodologie définie par l'exploitant et approuvée par l'Autorité de sûreté.

L'exploitant a réévalué les événements et combinaisons d'événements inclus dans le champ du programme européen des tests de résistance, à savoir les séismes, les inondations, les conditions météorologiques extrêmes, la perte des alimentations électriques ou des sources froides et la gestion des accidents graves.

Les évaluations portent sur des scénarios impliquant une seule unité, mais également plusieurs unités d'un même site simultanément. La chronologie des événements est décrite et les effets faibles potentiels sont analysés.

D'une manière générale, la robustesse des installations est satisfaisante.

Les principes de base de la sûreté, tels que la défense en profondeur, la redondance des équipements de sûreté importants, leur séparation physique ou géographique et leur diversification, ont été appliqués depuis la phase de conception, et des mises à niveau ont été réalisées sur les premières unités afin d'améliorer leur robustesse face à des scénarios non considérés à l'origine. Certains renforcements structurels ont également été effectués lorsqu'ils s'avéraient nécessaires.

Les évaluations menées à la suite de l'accident de Fukushima montrent que les fonctions de sûreté essentielles sont préservées dans tous les scénarios considérés.

Pour autant, l'exploitant a proposé une série d'améliorations sur le plan technique, organisationnel et humain afin de renforcer plus encore la sûreté de ses installations et de mieux faire face à certaines conditions accidentelles spécifiques, notamment pour les premières unités.

Sur base de l'évaluation des rapports de l'exploitant, ainsi que des réunions techniques et inspections sur site qui ont suivi, l'Autorité de sûreté a complété les propositions de l'exploitant par des exigences et recommandations additionnelles qui élargiront les possibilités d'amélioration dans le champ des tests de résistance européens.

Les actions proposées par l'exploitant et les améliorations complémentaires demandées par l'Autorité de sûreté devront être mises en œuvre dans un délai le plus court possible, compte tenu de la complexité des travaux à entreprendre et de leur importance pour la sûreté des installations. Dans cette optique, l'exploitant mettra à jour un plan d'action consolidé et il proposera des échéances ambitieuses qui seront approuvées par l'Autorité de sûreté.

A partir de là, l'Autorité de sûreté établira un suivi spécifiquement consacré à la mise en œuvre du plan d'action. Ce suivi comprendra notamment :

- Une mise à jour régulière de l'exploitant concernant l'état d'avancement du plan d'action, qui sera communiquée périodiquement à l'Autorité de sûreté.
- Des réunions d'information périodiques entre l'Autorité de sûreté et l'exploitant pour discuter de l'état d'avancement du plan d'action et des difficultés/retards éventuels ;
- Des inspections sur site effectuées par l'Autorité de sûreté sur une base périodique mais aussi au terme des principales réalisations, afin de vérifier sur le terrain l'avancée des travaux et leur conformité aux attentes de l'Autorité de sûreté.

Grâce à ce suivi, l'Autorité de sûreté pourra contrôler la bonne exécution du plan d'action par l'exploitant et le respect de ses engagements dans les délais impartis.

Les inspecteurs de l'AFCN et de Bel V dédiés à chaque site seront impliqués dans ce processus.

Les paragraphes suivants rappellent les améliorations complémentaires qui ont été identifiées par l'Autorité de sûreté.

7.2.1. Séisme

1. En ce qui concerne toutes les faiblesses identifiées lors des « walkdowns » (les SSC identifiés comme ayant une faible probabilité de préserver leur intégrité et d'assurer leur fonction en cas de séisme supérieur au RLE), l'exploitant a annoncé que des études complémentaires sont en cours ou que des modifications simples peuvent être entreprises. L'exploitant devra fournir un plan détaillé des actions prises ou prévues. Cela s'applique également pour l'étude de faisabilité relative au renforcement du bâtiment des auxiliaires électriques (BAE) à Tihange 1.
2. En raison du calendrier serré des tests de résistance européens, l'étude PSHA de l'ORB a dû être conduite en un temps relativement court. Comme suggéré par l'ORB, l'exploitant devrait mener une étude plus élaborée en prenant dûment en considération (1) d'autres éléments tels que l'utilisation d'une équation de prédiction du mouvement du sol plus récente ou l'application d'un filtre « cumulative absolute velocity » (« CAV »), (2) des revues externes menées par des experts internationaux et (3) les résultats d'autres études telles que le projet SHARE de la Commission européenne (harmonisation du risque sismique en Europe).
3. L'exploitant doit poursuivre ses efforts de sensibilisation quant à l'interaction sismique potentielle au sein de ses installations. Il doit particulièrement veiller à la stricte application des procédures afin d'éviter toute interaction entre des échafaudages et des SSC classés sismiques.

7.2.2. Inondation

Centrale nucléaire de Tihange

1. L'exploitant devra prévoir une marge de sécurité pour le premier niveau de défense de manière à couvrir les incertitudes liées à la crue décennale (le muret de protection périphérique devrait donc être plus élevé que le niveau de crue correspondant à la crue décennale).
2. Pour le risque d'inondation, des améliorations additionnelles de la stratégie d'intervention d'urgence et de l'organisation de crise, incluant les procédures correspondantes, devraient être mises en œuvre d'ici la mi-2012.
3. La robustesse des moyens non conventionnels (MNC) actuellement installés, constituant le Circuit des Moyens Ultimes (CMU), devrait être améliorée davantage :
 - Dans la mesure où le CMU est actuellement nécessaire pour des crues supérieures à la crue de référence de 2 615 m³/s (c'est-à-dire des crues d'une période de retour excédant 100 à 400 ans), l'exploitant devrait déterminer des dispositions spécifiques applicables aux équipements importants pour la sûreté (essais, maintenance, inspections...).
 - Les sources d'électricité alternatives actuellement mises en œuvre pour alimenter les systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande ainsi que l'éclairage de secours devraient être améliorées au besoin et il devrait être vérifié si les équipements d'instrumentation et de contrôle-commande disponibles ou réactivés sont suffisants pour garantir la sûreté des trois unités.
 - Les caractéristiques techniques de ces moyens non conventionnels (MNC) devraient prendre en considération les conditions (météorologiques) défavorables auxquelles ces moyens peuvent être soumis pendant toute la durée d'utilisation. Si cet aspect n'est pas couvert par la conception, une protection adéquate ou une stratégie compensatoire devraient être développées.

4. La robustesse de la stratégie d'intervention d'urgence et de l'organisation de crise, actuellement en place, devrait être améliorée davantage au niveau des aspects suivants :
 - Le système d'alerte de crue constitue un facteur clé. Ce système est basé sur la communication directe entre le service régional compétent pour établir des prévisions des débits dans le bassin mosan (SETHY, qui utilise un système de prévision dédié) et la centrale nucléaire (Tihange 2 étant le seul point de contact et étant chargée d'avertir Tihange 1 et Tihange 3). En conséquence, sa robustesse et son efficacité devraient être améliorées. En particulier :
 - Le protocole entre la centrale nucléaire et le SETHY devrait être formalisé dès que possible.
 - L'exploitant devrait régulièrement tester les canaux de communication sécurisés et les données transmises (c'est-à-dire, les mesures en direct et les prévisions des débits de la Meuse).
 - L'exploitant devrait organiser des exercices d'intervention d'urgence en impliquant à la fois le personnel de la centrale et celui du SETHY.
 - Les critères précis pour déclencher le plan d'urgence interne et démarrer la « phase d'alerte » et les actions associées devraient être définis clairement dans les procédures d'urgence applicables.
 - Des moyens de transport sur site de personnel et de matériel vers les unités, au sein des unités ou d'une unité à une autre, alors que le site est inondé, devraient être mis en œuvre et pris en compte dans la stratégie d'intervention d'urgence.
5. Les risques internes potentiellement induits par l'inondation (incendie, explosion) devraient être examinés et les mesures complémentaires devraient être prises lorsque nécessaire (exemple : pour pallier la perte du circuit d'extinction automatique d'incendie en cas de crue supérieure à la crue de référence). La défaillance potentielle du Circuit de Moyens Ultimes (CMU) en cas d'incendie induit, plus particulièrement en raison des dépendances lorsque le CMU est raccordé au circuit d'extinction d'incendie (CEI), devrait être examinée et il conviendrait de remédier aux faiblesses potentielles identifiées.

Centrale nucléaire de Doel

1. Les caractéristiques techniques des moyens non conventionnels (MNC) qui peuvent être utilisés en cas d'inondation des bâtiments de sûreté (pour toutes les causes potentielles) devraient prendre en compte les conditions (météorologiques) défavorables auxquelles ces moyens peuvent être soumis pendant toute la durée d'utilisation. Si cet aspect n'est pas couvert par la conception, une protection adéquate ou une stratégie compensatoire devraient être développées.
2. Amélioration des procédures post-sismiques (I-QM-01) : après un séisme, il convient de vérifier rapidement et visuellement si le débordement du bassin de la tour de refroidissement provoque ou peut provoquer une inondation imminente (par exemple suite à l'obstruction du canal de sortie). Dans ce cas, les pompes CW doivent être rapidement mises à l'arrêt.
3. Comme de récentes inspections ont révélé que la digue approchait à certains endroits la hauteur minimale requise (critère des spécifications techniques), la hauteur de la digue devrait être inspectée plus régulièrement (par exemple tous les deux ans, et au moins tous les cinq ans, plutôt que tous les dix ans) afin d'éviter, en cas de crue couverte par la conception du site, qu'une vague générée par le vent ne déferle par-dessus la digue (un franchissement de la digue est possible pour une période de retour supérieure à 300 ans).

7.2.3. Conditions météorologiques extrêmes

1. La réévaluation de la capacité du système d'égouts (cinq réseaux séparés à Doel et des réseaux séparés pour chaque unité à Tihange) en utilisant un modèle hydrodynamique détaillé doit couvrir à la fois des pluies importantes de courte durée et des pluies de longue durée (95^{ème} percentile) pour des périodes de retour allant jusqu'à 100 ans. En outre, ces pluies centennales doivent être déterminées sur la base d'observations des intensités de pluies

relevées sur une période de temps suffisamment longue, incluant les observations récentes (les pluies exceptionnelles du 23 août 2011, par exemple). En fonction de ces résultats, les améliorations potentielles du système d'égouts devront être envisagées et le plan d'action de l'exploitant sera mis à jour en conséquence là où c'est nécessaire.

2. Etant donné que des tornades de hautes intensités ont été observées dans les pays limitrophes au cours de ces dernières années (classe EF4 sur l'échelle Fujita améliorée), la robustesse des systèmes de protection de second niveau à Doel 1/2 et Tihange 1 devrait être confirmée dans l'hypothèse d'une tornade hors conception avec une vitesse de vents dépassant 70 m/s (250 km/h).

7.2.4. Perte des alimentations électriques et perte des sources froides

1. Le caractère opérationnel des moyens non conventionnels devra être justifié sur la base de données techniques (conception, fonctionnement, alignement et raccordements, essais périodiques, maintenance préventive, etc.).
2. Les caractéristiques techniques des moyens non conventionnels (MNC) doivent prendre en compte les conditions (météorologiques) défavorables auxquelles ils peuvent être exposés pendant toute la durée d'utilisation.
3. L'exploitant devra, en collaboration avec ELIA, gestionnaire du réseau haute tension, mener une étude de faisabilité pour assurer une meilleure séparation géographique des lignes à haute tension (380 et 150 kV) afin d'améliorer davantage la fiabilité des alimentations électriques externes des centrales nucléaires. De plus, en accord avec ELIA, l'exploitant devrait s'assurer qu'en cas de LOOP, les centrales nucléaires ont la priorité absolue pour le rétablissement de leurs alimentations externes. L'Autorité de sûreté entreprendra les démarches nécessaires (en collaboration avec d'autres autorités compétentes) pour assurer la mise en oeuvre de cette recommandation.
4. En rapport avec le scénario « SBO total », le surremplissage ou l'assèchement potentiel des générateurs de vapeur suite à la perte d'air comprimé d'ultime secours devront être examinés.
5. En rapport avec le scénario « SBO total », la disponibilité de la turbopompe AFW en cas de perte de ventilation dans le local de la turbopompe devra être examinée.
6. En cas de station black-out (total), l'exploitant devra évaluer si toutes les pénétrations de l'enceinte peuvent être fermées à temps et si les systèmes d'isolement de l'enceinte demeurent fonctionnels, en particulier en phases d'arrêt du réacteur. La faisabilité de la fermeture des voies d'accès du personnel et du matériel doit être examinée. Ces sujets doivent être abordés dans la procédure « SBO total ».
7. L'exploitant devra justifier que la capacité en eau (quantité et débit d'eau de refroidissement jusqu'aux consommateurs) du second niveau de protection est suffisante quand toutes les unités du site sont affectées par la perte de la source froide principale. Si nécessaire, une stratégie d'optimisation de la consommation en eau devra être développée.
8. A Tihange, l'exploitant devra renforcer l'éclairage de secours dans les différents locaux et lieux où les opérateurs devraient intervenir pendant les différents scénarios.
9. En rapport avec le scénario de « Perte de la source froide principale », l'exploitant devra effectuer en 2012 des essais d'alignement et de fonctionnement sur les prises d'eau profondes de secours dans le lit de la Meuse (pour Tihange 2 et 3).
10. En rapport avec le scénario de « Perte de la source froide principale », l'exploitant devra justifier la disponibilité (accessibilité, caractère opérationnel et alignement) des prises d'eau de secours sur Tihange 2 et 3, conformément aux exigences du document US NRC RG 1.27.

11. Deux configurations devraient être évaluées par l'exploitant pour les piscines de désactivation :
 - Configuration avec manipulation dans la piscine du réacteur d'un assemblage de combustible lors d'un « SBO total ». L'assemblage de combustible devrait être manipulé manuellement jusqu'à une position sûre. L'exploitant devrait examiner les dispositions à mettre en oeuvre pour cette configuration (installations de hardware, procédures, éclairage, etc.).
 - Configuration avec perte de l'inventaire en eau des piscines de désactivation. Le retour d'expérience au niveau international a déjà mis en exergue des problèmes potentiels liés à la conception des casse-siphons en piscines de désactivation. En cas de rupture de tuyauterie, une capacité insuffisante des casse-siphons pourrait entraîner un découverture rapide des assemblages combustibles. L'exploitant devrait examiner ce problème de sûreté.

7.2.5. Gestion des accidents graves

1. L'adéquation des directives procédurales (procédures BK pour Doel et guides de gestion des accidents graves (SAMG) pour Tihange) pour faire face à un accident grave a été évaluée par l'exploitant principalement sur la base du fait que ces procédures sont inspirées des Westinghouse Owners Group Severe Accident Management Guidelines (« WOG SAMG »), qu'elles sont régulièrement mises à jour et qu'elles sont validées dans le cadre des révisions périodiques de sûreté (décennales).

Cependant, ces procédures doivent encore être améliorées sur les aspects suivants :

 - les procédures BK de Doel devraient être complétées par des directives de surveillance à long terme et de sortie, comme cela existe déjà à Tihange (SAEG-1 et SAEG-2) ;
 - certaines procédures BK de Doel font référence à des procédures FRG (distinctes) pour l'explication des méthodes recommandées. Ce passage constant d'un jeu de procédures à un autre devrait être évité, et les procédures BK devraient donc être davantage autoportantes et contenir toutes les informations nécessaires à leur application ;
 - un outil de calcul du pH dans l'enceinte devrait être ajouté aux procédures BK/SAMG afin de déterminer l'acidité de l'eau du puisard à partir des volumes et quantités d'eau utilisés durant la gestion de l'accident, compte tenu de tous les autres processus physiques et chimiques influençant le pH ; cet outil serait également utilisé comme moyen de contrôle et de secours pour un système d'échantillonnage dédié ;
 - un outil d'aide à la prise de décision (tableau/flowchart) devrait être ajouté aux procédures BK/SAMG afin d'identifier rapidement l'endroit (le plus probable) d'un chemin de fuite dans l'enceinte sur la base des indications de certains détecteurs, et de déterminer les actions les plus appropriées pour limiter la dispersion des produits de fission. Cette approche pourrait impliquer le déploiement de détecteurs mobiles à des endroits spécifiques ;
 - les procédures BK devraient fournir des critères quantitatifs pour les paramètres clés sélectionnés afin de permettre un arbitrage rapide entre l'évacuation de la chaleur résiduelle et l'isolement d'une fuite dans les lignes de recirculation ;
 - un outil d'aide à la prise de décision devrait être ajouté aux procédures BK afin de permettre un arbitrage entre une injection dans le circuit primaire et une aspersion dans le bâtiment réacteur.
2. Autant que possible, l'exploitant devrait envisager d'augmenter la cohérence des programmes de formation et de recyclage aux situations de crise des centrales de Tihange et de Doel (différents en termes de durée et de fréquence)
3. Pour la centrale de Doel, l'exploitant indique que la probabilité d'une explosion de vapeur lorsque du corium tombe de la cuve du réacteur dans un puits inondé est très faible et peut donc être négligée, sur la base de plusieurs expériences effectuées dans le cadre de programmes internationaux de recherche qui ont été incapables de créer ce phénomène.

Pour la centrale de Tihange (où le puits de cuve n'est pas inondé avant la rupture de la cuve), l'exploitant indique qu'une étude de faisabilité d'un système permettant une injection d'eau

dans le puits de la cuve sera lancée.

Cependant, l'exploitant devrait suivre de près les expériences en cours en matière d'explosion de vapeur. Si nécessaire, les actuelles stratégies d'inondation du puits de la cuve avant la rupture de la cuve devront être adaptées.

4. L'exploitant devrait également évaluer la nécessité d'installer de nouveaux appareils qui pourraient être utiles pour la gestion d'accidents graves (mesure du pH dans les puisards, mesures de température au fond de la cuve du réacteur afin de surveiller une éventuelle fusion du cœur).
Les modifications matérielles associées destinées à améliorer ces aspects devraient être recherchées le cas échéant.
5. L'exploitant devrait identifier les moyens efficaces pour contrôler le pH à l'intérieur de l'enceinte après un accident grave. Cette exigence s'applique dans les phases précoces de l'accident, ainsi que durant la phase à long terme.
Pour la gestion de la phase à long terme d'un accident grave, l'exploitant devrait prendre en considération l'impact d'autres actions de gestion d'accident grave sur la possibilité de remplir le réservoir de soude et la possibilité d'avoir recours à d'autres mesures que l'injection de fluide à base de soude en vue d'influencer le pH de l'eau du puisard dans la direction alcaline.
6. Pour diversifier plus encore les stratégies disponibles de gestion d'accidents graves, une stratégie de délestage optimal des batteries (destinée à allonger autant que possible la durée de vie des batteries et donc la période de disponibilité des équipements vitaux pour la gestion d'un accident grave) devrait être développée et ajoutée aux procédures ERG (prévention des accidents graves) et BK/SAMG (limitation des conséquences des accidents graves).
Un outil de calcul et d'aide à la prise de décision devrait être étudié en parallèle pour déterminer les charges qui peuvent être déconnectées, le gain d'autonomie des batteries obtenu par la déconnexion d'une charge spécifique, les fonctions de gestion d'accident grave perdues suite à la déconnexion d'une charge spécifique, et les alternatives qui pourraient être prises en compte pour compenser (partiellement) la perte de chaque fonction de gestion d'accident grave.
7. L'exploitant devrait revoir les spécifications techniques des centrales de façon à améliorer davantage la disponibilité des équipements de secours de second niveau. En particulier, les durées maximales d'indisponibilité et les délais de remise en service devraient être réévalués et justifiés étant donné les risques en jeu.
8. L'exploitant devrait considérer les moyens supplémentaires (y compris les moyens non conventionnels) comme des équipements de sûreté dans la mesure où ils jouent un rôle-clé dans la prévention, la détection et/ou la limitation des conséquences d'un accident grave (défense en profondeur). Dans ce contexte, l'exploitant devra déterminer les dispositions spécifiques applicables à ces équipements (intégration aux spécifications techniques, inspections et essais, maintenance préventive...).