



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE : 18

SECTION :

PAGE : 1/1

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

CHAPITRE 18

ÉTUDE PROBABILISTE DE SÛRETÉ

18.0 EXIGENCES DE SÛRETÉ

18.1 ETUDE PROBABILISTE DE SURETE DE NIVEAU 1 ET SEQUENCES RRC-A

18.2 ETUDE PROBABILISTE DE SURETE DE NIVEAU 2

18.3 ÉTUDE PROBABILISTE DE SÛRETÉ AGRESSIONS



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 18

SECTION 0

PAGE 1/4

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

| | | |
|--------------|---|----------|
| .18.0 | EXIGENCES DE SÛRETÉ | 2 |
| 1. | INTRODUCTION | 2 |
| 2. | GÉNÉRALITÉS | 2 |
| 3. | REGLEMENTATIONS | 2 |
| 4. | OBJECTIFS PROBABILISTES DE SURETE | 2 |
| 5. | CIBLES PROBABILISTES POUR LA VERIFICATION DE LA CONCEPTION | 3 |
| 5.1. | CIBLES PROBABILISTES POUR LA VERIFICATION DE LA CONCEPTION LIÉES AU RISQUE DE FUSION DU CŒUR | 3 |
| 5.2. | CIBLES PROBABILISTES POUR LA VERIFICATION DE LA CONCEPTION LIÉES AU RISQUE DE REJETS INACCEPTABLES | 4 |

.18.0 EXIGENCES DE SÛRETÉ

1. INTRODUCTION

Le domaine de couverture de l'EPS est défini par la nature des conséquences considérées et par les événements étudiés :

- L'EPS de niveau 1 permet d'identifier les séquences menant à la fusion du cœur et d'en quantifier leur fréquence.
- L'EPS de niveau 2 permet d'évaluer la nature, l'importance et les fréquences des rejets hors de l'enceinte de confinement.

Les événements étudiés incluent les événements initiateurs d'origine interne à l'installation (défaillances d'origine matérielle ou humaine, incendie ou inondation interne...) ou d'origine externe (séisme, vents extrêmes, inondation externe...), associés aux différents états du réacteur.

D'autres scénarios accidentels sont également à considérer de manière probabiliste, comme par exemple, ceux relatifs au découvrement du combustible stocké dans la piscine de désactivation du combustible.

2. GÉNÉRALITÉS

L'objectif de l'étude probabiliste est de donner une confiance raisonnable dans la conformité de la conception aux objectifs généraux de sûreté.

Afin d'atteindre ce niveau global de sûreté, des considérations probabilistes sont utilisées :

- en support à la conception de la centrale pour la comparaison et l'optimisation du dimensionnement des systèmes,
- pour élargir la base de conception déterministe des systèmes (séquences RRC A) afin d'obtenir une conception équilibrée et de réduire le risque à un niveau acceptable en prenant en considération les mesures préventives et les moyens de mitigation,
- pour justifier le programme de maintenance préventive,
- pour vérifier l'analyse des accidents graves,
- pour confirmer la protection appropriée de la centrale contre certaines agressions internes et externes,
- pour apprécier l'amélioration du niveau de sûreté en comparaison des tranches existantes.

3. REGLEMENTATIONS

Les EPS sont effectuées dans le processus de conception et de réalisation du réacteur EPR conformément à la RFS 2002-01 relatives aux études probabilistes de sûreté (voir sous-chapitre 1.7).

4. OBJECTIFS PROBABILISTES DE SURETE

Un objectif de sûreté ne doit pas être interprété comme une limite de sûreté mais est spécifié afin de garantir des dispositions de sûreté suffisantes dans la conception.

Les objectifs probabilistes quantitatifs ne doivent pas être considérés comme des exigences ; ils sont essentiellement destinés à fournir des valeurs d'orientation pour vérifier la conception :

- La conception de l'îlot Nucléaire est telle que la fréquence de fusion du cœur globale, en prenant en considération les incertitudes, tous les états de la tranche et tous les types d'événements

(événements internes, agressions internes et agressions externes) devrait être inférieure à 10^{-5} par réacteur et par an. (§ A.1.1 des Directives Techniques).

- Les indisponibilités dues à la maintenance préventive ne devraient pas entraîner une part importante de la fréquence globale de fusion du cœur (§ C.2.2 des Directives Techniques).

Les situations d'accidents qui pourraient conduire à des rejets précoces importants doivent être "pratiquement éliminées". (§ A.1.3 des Directives Techniques). La liste exhaustive de ces situations ainsi que les études associées sont présentées à la section 19.2.4.

La démonstration que les situations d'accidents qui pourraient conduire à des rejets précoces importants sont "pratiquement éliminées" ne repose pas exclusivement sur des considérations probabilistes. Leur élimination pratique doit être démontrée par des considérations déterministes et probabilistes, en tenant compte des incertitudes dues aux connaissances limitées de certains phénomènes physiques.

Les séquences de fusion du cœur basse pression (§ A.1.1 des Directives Techniques) doivent être traitées de manière à ce que les rejets maximums concevables associés nécessitent seulement des mesures de protection très limitées dans l'espace et dans le temps pour le public. Ceci s'exprimerait par l'absence de relogement permanent, la non-nécessité d'une évacuation d'urgence hors de la proximité immédiate de la centrale, une mise à l'abri limitée, l'absence de restrictions à long terme concernant la consommation d'aliments (voir section 19.2.3).

En règle générale, des dispositions de conception doivent être prises à l'égard des agressions externes de manière cohérente avec celles prises pour les événements internes et les agressions internes ; c'est-à-dire que les agressions externes ne doivent pas constituer une part importante du risque global de fusion du cœur (§ A.2.5 des Directives Techniques).

5. CIBLES PROBABILISTES POUR LA VERIFICATION DE LA CONCEPTION

Pour la vérification de la conception lors de la phase de réalisation du réacteur, il est plus pratique de définir, en complément des objectifs généraux de sûreté, des cibles probabilistes qui se réfèrent à des groupes limités de situations de la tranche.

Par conséquent, elles peuvent contenir des chiffres inférieurs à ceux des objectifs de sûreté. Elles doivent être essentiellement considérées comme des valeurs d'orientation pour la vérification et l'évaluation de la conception et ne doivent pas être interprétées comme des limites de calcul strictes.

5.1. CIBLES PROBABILISTES POUR LA VERIFICATION DE LA CONCEPTION LIÉES AU RISQUE DE FUSION DU CŒUR

Les cibles probabilistes suivantes sont utilisées afin d'évaluer la conception :

Pour les initiateurs internes chaudières uniquement, c'est-à-dire agressions d'origine internes et externes non comprises :

- la fréquence globale de fusion du cœur inférieure à $10^{-6}/r.a.$, pour les états du réacteur en puissance,
- la fréquence globale de fusion du cœur inférieure dans les états d'arrêt à celle dans les états de fonctionnement en puissance,
- vérifier la conception équilibrée de la sûreté du réacteur en s'assurant de l'absence de scénarios ayant une contribution dominante à la fréquence de fusion du cœur,
- la contribution de chaque famille doit être équilibrée : une cible de fréquence de fusion du cœur par famille d'initiateurs de $10^{-7}/r.a.$ est utilisée.

Pour les agressions externes, la fréquence globale de fusion du cœur inférieure à $5.10^{-6}/r.a.$, compte tenu des conservatismes inhérents à l'évaluation de ce risque.

Pour tous les autres évènements, non couverts par ces situations et intégrant notamment les agressions internes, la fréquence globale de fusion du cœur inférieure à $3.10^{-6}/r.a.$

5.2. CIBLES PROBABILISTES POUR LA VERIFICATION DE LA CONCEPTION LIÉES AU RISQUE DE REJETS INACCEPTABLES

Les cibles probabilistes suivantes sont utilisées en complément des analyses déterministes du chapitre 19 ayant démontré l'élimination pratique des situations d'accidents pouvant conduire à des rejets importants et précoces et celles montrant que des rejets associés aux séquences de fusion du cœur à basse pression ne nécessitent que des mesures de protection limitées dans l'espace et dans le temps :

- Les situations (hors agressions) conduisant à une évacuation de la population au-delà du voisinage immédiat de l'installation doivent avoir une fréquence inférieure à $10^{-7}/r.a.$
- Pour chaque situation d'accident (hors agressions), on vise une contribution équilibrée au risque de rejets importants et précoces ; pour cela une valeur cible, d'une fréquence inférieure à $10^{-8}/r.a.$, est utilisée.

En tout état de cause, ces cibles probabilistes ne constituent pas une « valeur de coupure » probabiliste générique.

18.1 ETUDE PROBABILISTE DE SURETE DE NIVEAU 1 ET SEQUENCES RRC-A

18.1.1 ETUDE PROBABILISTE DE SURETE DE NIVEAU 1 DU BR ET DU BK

18.1.2 IDENTIFICATION DES DISPOSITIONS ET DES SEQUENCES FONCTIONNELLES RRC-A

18.1.3 EPS N1 - FAMILLES D'INITIATEURS "PRATIQUEMENT ÉLIMINÉS"

18.1.4 SYNTHÈSE DE L'EPS DE NIVEAU N1

SOMMAIRE

.18.1.1 ETUDE PROBABILISTE DE SURETE DE NIVEAU 1 DU BR ET DU BK 5

| | |
|--|----------|
| 1. INTRODUCTION | 5 |
| 1.1. OBJECTIFS | 5 |
| 1.2. CHAMPS ET LIMITES DE L'ÉTUDE | 5 |
| 1.3. CRITÈRES DE SUCCÈS ET DE DÉCOUPLAGE | 6 |
| 2. METHODOLOGIE | 6 |
| 2.1. DONNÉES | 6 |
| 2.1.1. HYPOTHÈSES : DURÉE DES DIFFÉRENTS ÉTATS STANDARDS DU RÉACTEUR | 6 |
| 2.1.2. DONNÉES DE FIABILITÉ | 6 |
| 2.1.3. INITIATEURS | 7 |
| 2.1.4. DÉFAILLANCE DE CAUSE COMMUNE | 10 |
| 2.2. PRISE EN COMPTE DU CONTROLE COMMANDE (CC) | 10 |
| 2.2.1. INTRODUCTION | 10 |
| 2.2.2. MÉTHODOLOGIE | 10 |
| 2.2.3. VALEURS D'INDISPONIBILITÉ POUR LE CC | 12 |
| 2.2.4. INTÉGRATION DU CC DANS LE MODÈLE EPS | 14 |
| 2.3. PRISE EN COMPTE DU FACTEUR HUMAIN | 15 |
| 2.3.1. INTRODUCTION | 15 |
| 2.3.2. MÉTHODOLOGIE | 15 |
| 2.4. MAINTENANCE PRÉVENTIVE | 18 |
| 2.4.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX | 18 |
| 2.4.2. MODÉLISATION DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE | 18 |
| 2.5. HYPOTHESES GENERALES SUR LA MODELISATION DES SYSTEMES | 19 |
| 2.5.1. MÉTHODOLOGIE | 19 |
| 2.5.2. TEMPS DE MISSION DES SYSTÈMES | 20 |
| 2.5.3. INTRODUCTION DES SYSTÈMES SUPPORTS DANS L'EPS | 20 |
| 2.6. HYPOTHESES GENERALES SUR LA MODELISATION DES SÉQUENCES ACCIDENTELLES | 20 |
| 2.6.1. DÉFINITIONS | 20 |

| | |
|---|-----------|
| 2.6.2. MODÉLISATION DES SÉQUENCES ACCIDENTELLES DE L'EPS DE NIVEAU 1 | 22 |
| 3. RESULTATS DE L'EPS DE NIVEAU 1 DU BR | 22 |
| 3.1. REPARTITION DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR PAR FAMILLE D'INITIATEURS | 22 |
| 3.1.1. FAMILLE "BRÈCHE EXTERIEUR ENCEINTE SUR ISBP/RA" | 23 |
| 3.1.2. FAMILLE "ACCIDENT DE PERTE DE RÉFRIGÉRANT PRIMAIRE" (APRP) | 23 |
| 3.1.3. FAMILLE "RUPTURE DE TUYAUTERIE SECONDAIRE" (RTS) | 24 |
| 3.1.4. FAMILLE "RUPTURE DE TUBE DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR" (RTGV) | 26 |
| 3.1.5. FAMILLE "TRANSITOIRES SECONDAIRES" (TGTA) | 27 |
| 3.1.6. FAMILLE "PERTE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES HAUTE TENSION" (PSL HT) | 28 |
| 3.1.7. FAMILLE "PERTE DE SOURCES ELECTRIQUES BASSE TENSION" (PSL BT) | 28 |
| 3.1.8. FAMILLE "TRANSITOIRES PRIMAIRES" (TRCP) | 29 |
| 3.1.9. FAMILLE "PERTE DE SOURCE FROIDE (PSF)" | 30 |
| 3.1.10. FAMILLE "TRANSITOIRE SANS ARRÊT AUTOMATIQUE DU RÉACTEUR" (ATWS) | 32 |
| 3.1.11. FAMILLE "INTEMPESTIFS DU CONTRÔLE-COMMANDE" | 34 |
| 3.2. SYNTHÈSE | 35 |
| 3.3. REPARTITION DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR PAR ETAT STANDARD DU REACTEUR | 35 |
| 3.4. CONCLUSIONS | 35 |
| 4. RÉSULTATS DE L'EPS DE NIVEAU 1 DU BK | 36 |
| 4.1. REPARTITION DU RISQUE PAR FAMILLE D'INITIATEURS | 36 |
| 4.1.1. FAMILLE "PERTE TOTALE DE REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE" – (FPCSL) | 36 |
| 4.1.2. FAMILLE "VIDANGE ACCIDENTELLE DE LA PISCINE" - FPD (FUEL POOL DRAINING) | 38 |
| 4.2. REPARTITION PAR ETAT STANDARD DU REACTEUR ET PAR FAMILLE ACCIDENTELLE | 41 |
| 4.2.1. RISQUE DE FUSION | 41 |



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 18

SECTION 1.1

PAGE 3/48

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

| | |
|---|-----------|
| 4.2.2. RISQUE D'ÉBULLITION | 41 |
| 4.2.3. ANALYSE DES RÉSULTATS | 41 |
| 4.3. CONCLUSIONS | 41 |
| LISTE DE RÉFÉRENCES | 42 |



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 18

SECTION 1.1

PAGE 4/48

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TABLEAUX :

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| TAB-18.1.1.1 | PROFIL DE FONCTIONNEMENT | 43 |
| TAB-18.1.1.2 | DONNEES DE FIABILITE..... | 44 |
| TAB-18.1.1.3 | PROBABILITÉ D'OCCURRENCE D'ÉVÉNEMENT..... | 45 |
| TAB-18.1.1.4 | INITIATEURS DE L'EPS BR | 46 |
| TAB-18.1.1.5 | INITIATEURS DE L'EPS BK | 47 |

.18.1.1 ETUDE PROBABILISTE DE SURETE DE NIVEAU 1 DU BR ET DU BK

1. INTRODUCTION



Ce chapitre traite des Etudes Probabilistes de Sûreté de niveau 1 du Bâtiment Réacteur (EPS N1 du BR) et de la piscine du Bâtiment Combustible (EPS N1 du BK).

Il est divisé en quatre parties. La première partie présente les objectifs assignés aux EPS. La méthodologie et les données sont décrites dans la seconde partie. Les deux dernières parties présentent les résultats des EPS du BR et du BK. Ces résultats sont exprimés par année réacteur (/a. r.), en terme de fréquence de fusion du cœur pour l'EPS N1 du BR, et en terme de fréquence de fusion du combustible et d'ébullition de la piscine pour l'EPS N1 du BK.

Les objectifs probabilistes de sûreté sont décrits dans le sous-chapitre 18.0 "Exigences de sûreté".

1.1. OBJECTIFS

Les études probabilistes de sûreté permettent d'optimiser le dimensionnement des systèmes et de l'installation. Cette pratique permet d'atteindre un bon équilibre du dimensionnement afin de s'assurer que la conception est conforme aux objectifs généraux de sûreté.

La quantification du risque est effectuée à l'aide  du logiciel informatique . Les arbres de défaillance permettent d'estimer la probabilité de défaillance des missions systèmes. Les arbres d'événements sont utilisés pour l'estimation du calcul du risque de fusion du combustible ou d'ébullition, pour chaque initiateur.

1.2. CHAMPS ET LIMITES DE L'ÉTUDE

Le présent sous-chapitre concerne le niveau 1 des études EPS.

EPS du Bâtiment Réacteur

Les résultats sont présentés en terme de fréquence de fusion du cœur par réacteur et par an. Le modèle utilisé pour le RDS est la version "EPS EPR de réalisation V2_4".

Le modèle obtenu couvre de manière satisfaisante les situations accidentelles potentielles relatives à la chaudière. Le champ de l'étude probabiliste est défini ci-dessous :

- L'objectif est de couvrir tous les états du réacteur, d'un fonctionnement à pleine puissance à l'arrêt pour rechargement avec au moins un élément combustible dans la cuve du réacteur ;
- La liste des initiateurs est limitée aux événements internes chaudière (à l'exception de la perte de source froide d'ultime secours et de la perte des alimentations électriques externes) ;
- L'objectif initial prévu était de réaliser une EPS de Niveau 1. La conséquence redoutée est la fusion du cœur. Les paramètres thermo-hydrauliques et neutroniques, les conditions initiales, les points de consigne et la disponibilité des composants se basent sur des données réalistes.

EPS du Bâtiment Combustible

Les résultats sont présentés en terme de fréquence de fusion du combustible et de fréquence d'ébullition de la piscine BK, par réacteur et par an. Le modèle utilisé pour le RDS est la version "EPRBKV2".

L'EPS BK doit vérifier le respect des objectifs fixés par les Directives Techniques, rappelés ci-après : le risque de fusion du combustible dans la piscine doit être pratiquement éliminé.

La fréquence d'ébullition de l'eau dans la piscine de combustible fait également l'objet d'une évaluation.

1.3. CRITÈRES DE SUCCÈS ET DE DÉCOUPLAGE

EPS du Bâtiment Réacteur

En fonction des situations accidentelles, plusieurs critères de découplage différents peuvent être utilisés dans les calculs thermohydrauliques.

Le critère principal considéré est celui d'une haute température du cœur. En effet, quand la température est supérieure à un certain seuil, la situation correspond à une période pendant laquelle le cœur est découvert.

Les autres critères pris en compte sont les suivants :

- Non découvrément du cœur dans les états d'arrêt ;
- Pression primaire ;
- Retour en criticité ;
- Rapport de Flux Thermique Critique ;
- Température et pression de l'enceinte de confinement (corrélées à la température de l'IRWST).

Les critères de succès sont établis par des calculs physiques, des méthodes et des hypothèses. Les données thermohydrauliques et neutroniques, les conditions initiales, les seuils et les composants disponibles sont basés sur des données réalistes.

EPS du Bâtiment Combustible

Pour l'EPS BK, les critères de découplage suivants ont été utilisés :

- Fusion : découvrément du haut d'un assemblage en cours de manutention ou dans le râtelier de stockage.
- Ebullition : atteinte d'une température moyenne de l'eau de la piscine de désactivation supérieure à un certain seuil.

2. METHODOLOGIE

2.1. DONNÉES

2.1.1. Hypothèses : durée des différents états standards du réacteur

Les états étudiés dans l'EPS vont du fonctionnement en pleine puissance à l'arrêt pour rechargement avec au moins un élément combustible dans la cuve du réacteur.



Les durées moyennes des états standards du réacteur par an [Réf \[3\]](#), pour un cycle du combustible de 18 mois, sont présentées dans le tableau [TAB-18.1.1.1](#).

2.1.2. Données de fiabilité

La méthode retenue pour constituer ces données de fiabilité repose en majorité sur les similitudes existant entre les matériels destinés à être employés sur l'EPR et ceux recensés dans les bases de données matériels disponibles.

Les données de fiabilité de l'EPS EPR [Réf \[1\]](#) proviennent principalement du retour d'expérience d'exploitation en France. La base EDF (France), qui distingue les matériels en fonction de leur technologie et de leurs conditions d'exploitation, est donc privilégiée et complétée, dans le cas où un

matériel n'y est pas traité spécifiquement, par la base de données [1], elle-même complétée par la base de données génériques [2].

En ce qui concerne les systèmes de contrôle-commande, les données de fiabilité sont celles définies dans le § 2.2. ([3]).

Un résumé des données de fiabilité retenues pour l'EPS EPR est fourni dans les tableaux [TAB-18.1.1.2](#) et [TAB-18.1.1.3](#).

2.1.3. Initiateurs

2.1.3.1. Généralités

EPS du Bâtiment Réacteur

Les événements initiateurs pris en compte se limitent aux événements internes de la chaudière, à l'exception des événements externes pouvant affecter la sûreté de la tranche, celui de la perte de la source froide ultime (prise d'eau) et celui de la perte de la source électrique.

Les événements initiateurs sont évalués à partir de l'observation du retour d'expérience français ou international. Pour les initiateurs provenant de la défaillance de matériels, la fréquence est calculée à partir des données de fiabilité des matériels considérés.

Les initiateurs étudiés dans l'EPS BR sont les suivants :

- Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) ;
- Brèche à l'extérieur de l'enceinte sur ISBP-RA ;
- Rupture de Tuyauterie Secondaire (RTS) :
 - Rupture de Tuyauterie Vapeur (RTV),
 - Rupture de Tuyauterie d'Eau (RTE),
 - Cumul de rupture de ligne vapeur avec rupture de tube de générateur de vapeur (RTV + RTGV) ;
- Rupture de Tubes de Générateur de Vapeur (RTGV) ;
- Perte de l'eau alimentaire des générateurs de vapeur (TGTA) ;
- Perte de Sources Electriques Haute Tension (PSL-HT) :
 - Perte des alimentations électriques externes courte (2h),
 - Perte des alimentations électriques externes longue (24h),
 - Perte de l'alimentation électrique principale ;
- Perte de Sources Electriques Basse Tension (PSL-BT) :
 - Perte de l'alimentation d'un tableau de mécanisme de commande de grappes,
 - Perte de source interne de tableau basse tension (hors tableau de mécanisme de commande de grappe) ;
- Transitoires du Circuit Primaire (TRCP) :
 - Dilutions homogènes,
 - Perte totale de refroidissement RIS en mode RRA,
 - Baisse incontrôlée du niveau primaire,
 - Perte des moyens de pompage RCV,
 - Perte d'un GMPP,

- Chute de grappes ;
- Perte de la Source Froide (PSF) :
 - Perte totale ou partielle de la chaîne de refroidissement,
 - Perte de la source froide ultime ;
- Transitoire sans arrêt automatique du réacteur (ATWS) ;
- Intempestifs Contrôle-Commande.

Les initiateurs de dilutions hétérogènes et de bypasses du confinement sont traités dans les transitoires de la section 18.1.3.

L'application du principe d'exclusion de rupture aux tuyauteries principales du CPP et du CSP conduit à rendre très improbables les brèches guillotines doublement débattues sur ces circuits. La probabilité d'occurrence des événements initiateurs simples correspondant aux accidents 2A LOCA et 2A RTV est suffisamment faible pour ne pas avoir à les retenir dans l'EPS. Il en va de même pour les ruptures des « composants non ruptibles » tels que cuve, GV et volute de GMPP.

EPS du Bâtiment Combustible

Les événements initiateurs pris en compte dans l'EPS BK sont les suivants :

- Perte de refroidissement de la piscine de désactivation (FPCSL) ;
- Vidange non compensable par les moyens normaux d'appoint et pouvant conduire à la perte de refroidissement de la piscine BK ou au dénoyage d'un assemblage de combustible (FPD).

□

Nota : □

2.1.3.2. Quantification des événements initiateurs

EPS du Bâtiment Réacteur

La méthode de quantification dépend essentiellement de la catégorie de l'initiateur.

- **Pour les initiateurs ayant déjà été observés**, la fréquence est évaluée par le calcul suivant :

- $f = n/T$
où n = nombre d'occurrences de l'événement dans l'échantillon étudié,
et T = période d'observation de l'échantillon (en années x réacteur).

Nota : Pour les initiateurs fréquents (i.e. qui ont été observés au moins une fois sur les tranches françaises), le REX du palier REP 1300 MWe est privilégié, au besoin enrichi au cas par cas par celui du palier CP0 et CPY.

- **Pour les initiateurs n'ayant pas été observés dans le retour d'expérience français ou étranger**, la fréquence peut être évaluée de deux façons :

- Loi du X^2 à 50 % à deux degrés de liberté : l'estimateur de la fréquence est calculé comme la borne supérieure de l'intervalle de confiance unilatéral au niveau de confiance 50 %. En fait, la valeur de l'estimateur est telle que la fréquence réelle a la même probabilité de lui être inférieure (0,5) ou supérieure. On obtient donc :

$$f = \frac{X_{0,5}^2}{2T} = \frac{0,7}{T}$$

où T = période d'observation de l'échantillon (en années x réacteur).

- Par « jugement d'expert » : basé sur des études de conception ou des études particulières.

Nota : D'une manière générale, le recours systématique à la loi du X^2 à 50 % est à éviter car il conduit à une homogénéisation des fréquences de tous les initiateurs hypothétiques autour de deux valeurs. Cette homogénéisation est contraire à l'objectif des EPS qui est de hiérarchiser les séquences conduisant à la fusion du cœur. Autant que possible, le jugement d'expert sera privilégié pour les initiateurs jamais observés sur le Parc Nucléaire.

- **Pour les initiateurs provenant de la défaillance des matériels**, la fréquence est calculée à partir des données de fiabilité des matériels considérés :

Les données de fiabilité se présentent généralement, soit sous la forme d'un taux horaire de défaillance en fonctionnement (λ , unité/heure), soit sous la forme d'une probabilité de défaillance à la sollicitation (γ , unité/demande). La fréquence de l'initiateur est alors, selon le cas :

- $f = \lambda \times T_m$
- $f = n \times \gamma$
où T_m = durée de la mission du matériel considéré en heures par an,
 n = nombre de sollicitations du matériel par an.

Les événements initiateurs de l'EPS BR et leur fréquence d'occurrence [Réf \[2\]](#), sont donnés dans le tableau [TAB-18.1.1.4](#).

EPS du Bâtiment Combustible

La quantification de la probabilité de vidange de la piscine utilise la même méthode que celle présentée pour l'EPS BR ci-dessus.

La perte du refroidissement de la piscine BK est estimée par une modélisation dynamique utilisant les [\[1\]](#) et le logiciel de quantification [\[2\]](#). La quantification de la probabilité de perte du refroidissement de la piscine BK est donc effectuée par la modélisation dynamique du système PTR et de ses systèmes supports :

- Circuit de refroidissement PTR (2 trains principaux et 3ème train) ;
- Trains et communs A du RRI ;
- Chaîne de refroidissement du 3ème train PTR ([\[1\]](#)) ;
- Alimentations électriques des composants PTR (tableaux électriques des divisions 1, 2 et 4, diesels principaux de ces divisions et diesel d'ultime secours de la division 1).

Cette modélisation dynamique, [\[1\]](#), est un type de modèle probabiliste permettant de construire des arbres de défaillance qui :

- Prennent en compte les dépendances entre les défaillances, ou les réparations des composants ;
- Conditionnent la sollicitation d'une ou plusieurs partie(s) du système ;
- Modélisent les différentes phases de la mission d'un système.

La quantification du risque est ensuite effectuée par un code de calcul de probabilités dédié au traitement des arbres de défaillances [\[2\]](#).

Les événements initiateurs de l'EPS BK et leur fréquence d'occurrence [Réf \[8\]](#), sont donnés dans le tableau [TAB-18.1.1.5](#).

2.1.4. Défaillance de cause commune

Les défaillances de cause commune (DCC) sont des défaillances à la demande ou en fonctionnement pouvant affecter simultanément ou pendant la durée de la mission, plusieurs équipements, ces défaillances sont provoquées par une même cause. Les défaillances de cause commune sont des défaillances propres aux équipements mêmes, dues à des erreurs de conception, de fabrication, d'installation ou d'utilisation.

Ces DCC concernent des groupes d'équipements identiques, redondants et fonctionnant dans des conditions comparables.

□

Modélisation :

□

Données d'entrée pour l'EPR :

□

2.2. PRISE EN COMPTE DU CONTROLE COMMANDE (CC)

2.2.1. Introduction

Etant donné le rôle relativement important joué par le Contrôle-Commande dans le risque de fusion du cœur, la décision a été prise de réaliser une intégration globale du CC dans le modèle EPS, détaillée dans [Réf \[6\]](#).

Cette intégration a été réalisée en deux étapes :

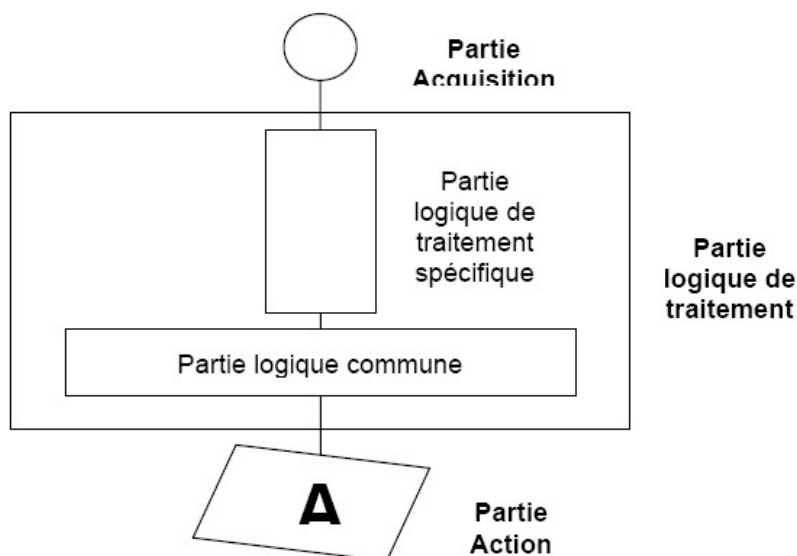
- Modélisation des chaînes de contrôle commande avec le "Modèle Compact " ;
- Intégration globale des fonctions CC (combinaisons logiques de chaînes de CC) dans le modèle EPS.

Ces deux étapes sont résumées dans les paragraphes suivants.

2.2.2. Méthodologie

La modélisation CC est décrite par le terme "modèle compact". Elle se fonde sur la décomposition logique des missions automatiques du CC en grandes sous-fonctions.

De ce fait, comme l'illustre la représentation symbolique suivante, chaque chaîne CC est décomposée en trois grandes parties : une partie acquisition, une partie logique spécifique et logique commune et une partie actionneur.



Pour l'intégration finale dans les arbres d'événements de l'EPS, ces représentations fonctionnelles des défaillances sont converties en arbres de défaillances.

Dans ces arbres de défaillances, des valeurs d'indisponibilité globales sont fixées pour les parties acquisition et logique. Elles dépendent de la classification et de l'architecture interne et peuvent être directement utilisées dans la modélisation booléenne de l'EPS.

La partie « actionneurs » représente les éléments (cartes d'actions de sauvegarde, relais) qui assurent la transmission d'une commande de l'automate vers les actionneurs. Elle est intégrée aux arbres de défaillances de systèmes mécaniques.

2.2.2.1. Partie acquisition

Cette partie est constituée d'un groupe de capteurs redondants (le terme « capteur » inclut la cellule de mesure, le convertisseur électronique et la connectique de transmission) et de la mise en œuvre de la surveillance du même paramètre. Le nombre de capteurs dans ce groupe dépend du niveau interne de redondance de la chaîne de protection : par exemple, une redondance de 2/4 utilise quatre capteurs, mais n'en requiert que deux sur les quatre pour lancer une action de protection.

2.2.2.2. Partie logique

Cette partie est composée de deux sous-parties :

- Une partie spécifique à une chaîne de protection donnée et à sa logique de traitement. Cette partie s'étend de l'acquisition des paramètres (en aval des capteurs) jusqu'au traitement des ordres partiels (avant le vote). Elle inclut la totalité des cartes électroniques redondantes (matériel et logiciel) nécessaires pour réaliser des ordres partiels. Elle tient compte des niveaux internes de redondances de la chaîne.
- Une partie commune à l'ensemble des chaînes spécifiques à un automate programmable donné. Elle tient compte de tous les composants utilisés pour le traitement du vote. En outre, elle inclut tous les éléments, systèmes et protocoles communs, indispensables à la transmission de données (par exemple : les bus de données, les protocoles d'échange, etc.). Cette partie tient également compte des points communs matériels ainsi que les défaillances de causes communes pouvant être potentiellement introduites par l'utilisation de la même technologie.

2.2.3. Valeurs d'indisponibilité pour le CC

Ces chiffres sont les valeurs globales de l'indisponibilité de chaque partie qui tiennent compte de nombreux paramètres, apportant ainsi la preuve de l'attention apportée à la qualité de la réalisation et à la fabrication de l'automate (classe d'équipement). Ils se rapportent à une seule chaîne de protection. Les valeurs se basent sur du jugement d'expert. Elles sont compatibles avec le retour d'expérience et les études de fiabilité des systèmes de Contrôle-Commande réalisées par EDF pour les EPS 1300 et N4. Les valeurs sont également confortées par des études de fiabilité prévisionnelles réalisées à partir des données de fiabilité fournies par les constructeurs.

Les chiffres proposés dans les tableaux ci-après sont les mêmes pour les chaînes F1B, F2 et NC. Cette hypothèse est vérifiée par des études de fiabilité à partir de données constructeurs. Sinon, des valeurs particulières sont employées.

2.2.3.1. Partie acquisition

Les valeurs numériques d'indisponibilité de la partie acquisition sont résumées dans le tableau ci-dessous :

| Classe d'équipement | Redondance | Indisponibilité |
|---------------------|------------|-----------------|
| F1A | □ | □ |
| | □ | □ |
| | □ | □ |
| | □ | □ |
| | □ | □ |
| F1B, F2, NC | □ | □ |
| | □ | □ |
| | □ | □ |
| | □ | □ |
| | □ | □ |

Les valeurs numériques pour un groupe de capteurs tiennent compte :

- De l'architecture interne (degré de redondance, etc. ...);
- Des taux de défaillances de causes communes, calculés selon la méthode du facteur β ;
- Des erreurs d'étalonnage ;
- De l'efficacité des auto-tests internes (réalisés dans la partie logique) ;
- De l'intervalle de temps entre les essais périodiques, les spécifications techniques d'exploitation et la qualité générale du système (reconfiguration, etc.).

Si une chaîne requiert N groupes de capteurs pour fonctionner le risque d'indisponibilité du groupe sera compté N fois.

2.2.3.2. Partie logique spécifique

Les valeurs numériques d'indisponibilité de la partie logique spécifique sont résumées dans le tableau ci-dessous :

| Classe d'équipement | Indisponibilité |
|---------------------|-----------------|
| F1A | □ |
| F1B, F2, NC | □ |

Les valeurs numériques sont des valeurs standards enveloppes tenant compte :

- De l'architecture et de la logique (degré de redondance, etc.) internes à la chaîne ;
- Des erreurs de conception ;
- Des taux de défaillances indépendants et des défaillances de causes communes d'origine matérielle, affectant les composants redondants de la chaîne (par exemple, 4 cartes pour une redondance de 4) ;
- Des défaillances dues aux logiciels spécialement développés pour une chaîne donnée et pour une exigence précise. Ces logiciels sont des logiciels d'application qui requièrent le développement d'une logique spécifique (franchissement d'un seuil, prise en compte de conditions opérationnelles particulières, utilisation des permissifs) ;
- De la fréquence de couverture du diagnostic des auto-tests internes ;
- Des erreurs humaines dans la saisie des données.

2.2.3.3. Partie logique commune

Les valeurs numériques d'indisponibilité de la partie logique commune sont résumées dans le tableau ci-dessous :

| Classe d'équipement | Indisponibilité |
|---------------------|-----------------|
| F1A (*) | □ |
| F1B, F2, NC | □ |

(*) la logique commune d'un sous-système est de □, mais la perte totale du PS correspond à la perte simultanée des deux sous-systèmes avec un bêta de □.

Les valeurs numériques sont des valeurs enveloppes et standards, qui dépendent essentiellement de la classe d'équipement des automates de Contrôle-Commande. Elles tiennent compte :

- Des défaillances de causes communes dues aux erreurs dans le logiciel d'exploitation et des échanges de données sur les réseaux ;
- Des points communs internes au matériel ou au logiciel (bus de données, protocoles de communication communs à toutes les cartes,...) ;
- De toutes les défaillances de causes communes dues à l'utilisation de la même technologie (conception, fabrication,...).

Les valeurs proposées sont inférieures à celles sélectionnées pour la partie spécifique des chaînes. Les explications sont les suivantes :

- Les matériels et logiciels décrits dans cette partie ne sont pas développés de manière spécifique. Ils ont des caractéristiques génériques (logiciel du système d'exploitation, bus de données, protocole d'échange,...) ;
- De par leurs fonctions, ces matériels et logiciels sont communs à toutes les chaînes. Leurs défaillances ont des conséquences critiques. Ils font donc l'objet de procédures de réalisation strictes et sont étroitement surveillés et contrôlés ;
- Enfin, de par leur utilisation étendue, ce sont des matériels et logiciels éprouvés et testés permettant d'avoir un niveau de confiance satisfaisant quant à leur sûreté de fonctionnement.

2.2.4. Intégration du CC dans le Modèle EPS

2.2.4.1. Champ d'application de l'étude

L'intégration globale des fonctions CC dans le modèle d'Évaluation Probabiliste de la Sûreté (EPS) de l'EPR a été réalisée pour les fonctions CC suivantes :

- Les systèmes de protection : les chaînes d'arrêt automatiques du réacteur ou les chaînes de démarrage des auxiliaires de sauvegarde ;
- Les chaînes de « réduction de risques » liées au risque d'indisponibilité du système de protection, par exemple ATWS par blocage mécanique des grappes de contrôle ;
- Les limitations et les régulations ne sont pas prises en compte dans l'EPS.

Les familles des missions CC modélisées de l'EPR sont les suivantes :

- Arrêt automatique réacteur (AAR) ;
- Vannes de décharges à l'atmosphère (VDA) ;
- Alarmes opérateurs ;
- Protection antidilution (PAD) ;
- Signaux d'injection de sécurité (RIS) ;
- Isolement enceinte ;
- Transitoires sans AAR ;
- Démarrage des diesels de secours principaux ;
- Circuit de refroidissement intermédiaire (RRI) ;
- Alimentation de Secours des Générateurs de Vapeur (ASG) ;
- Arrêt GMPP ;
- Alimentation normale des générateurs de vapeurs (ARE/APA/AAD) ;
- Vannes d'isolement vapeur (VIV) ;
- Mise en service du système de contrôle chimique et volumétrique (RCV) ;
- Circuit de refroidissement de la piscine de désactivation (PTR).

Signaux permissifs et conditionnels :



2.2.4.2. Hypothèses générales liées à l'intégration du CC

Insertion du CC dans les arbres d'événements :

Le principe vise à insérer les arbres de défaillances CC dans les arbres d'événements en tant qu'événements génériques. Cette option facilite la compréhension de la cinétique des accidents et des contre-mesures prises pour atténuer l'événement initial.

Dans la pratique, certains signaux de protection n'ont pas d'incidence globale sur un système. Au lieu de cela, ils sont caractérisés par des chaînes spécifiques à chaque train : ainsi, chaque train ASG est activé par une chaîne de protection spécifique qui utilise des mesures spécifiques au GV connexe.

Cette situation est comparable à celle du démarrage des diesels, l'enclenchement de la pompe primaire, l'activation du DEA, etc. ..., où les actions CC sont lancées par une chaîne de protection spécifique dédiée à chaque train. Dans ces situations, la modélisation des signaux en tant qu'événements en-tête est difficile. Cela est dû au cumul de nombreux événements et séquences permettant la modélisation des différentes combinaisons de défaillances CC et mécaniques. De ce fait, la défaillance de ces chaînes de protection est incluse dans la mission système de l'arbre de défaillance.

Aspects récupération pour une action opérateur :

Pour de nombreuses défaillances de missions de CC, des actions opérateurs peuvent être considérées comme une mesure de récupération. Ceci s'applique uniquement dans les cas suivants :

- L'opérateur dispose de suffisamment de temps pour diagnostiquer le problème et effectuer les actions appropriées ;
- Un diagnostic est réalisé à l'aide des données de nature suffisamment diversifiées par rapport aux données utilisées pour générer les actions automatiques de CC que l'action manuelle remplace ;
- Aucune dépendance totale d'une précédente action de l'opérateur n'est révélée.

Hypothèses probabilistes spécifiques :

□

2.3. PRISE EN COMPTE DU FACTEUR HUMAIN

2.3.1. Introduction

En exploitation normale, les actions humaines peuvent contribuer à l'occurrence d'un accident. En situations d'accident, des systèmes de sauvegarde ainsi que des actions humaines sont nécessaires pour ramener l'installation dans un état de « contrôle ». En situation normale ou accidentelle, l'étude des actions humaines (missions pré-accidentelles et post-accidentelles) relève de l'évaluation probabiliste du Facteur Humain (EPFH).

2.3.2. Méthodologie

2.3.2.1. Généralité

La prise en compte du facteur humain consiste à :

- Recenser toutes les actions humaines potentielles et importantes pouvant initier un accident ou provoquer la défaillance d'une mission de sauvegarde en régime accidentel ;
- Leur attribuer une probabilité [Réf \[1\]](#) ;
 - Actions pré-accidentelles : Probabilité introduite sous forme d'événements de base dans les arbres de défaillances modélisant les missions de sauvegarde (par ex. : vanne laissée en position fermée),
 - Actions post-accidentelles : Probabilité introduite sous forme de valeur point comme des événements en tête pour les séquences accidentelles (par ex. : échec de la mise en œuvre du gavé ouvert).

Le modèle EPFH (Evaluation Probabiliste du Facteur Humain) mis au point est inspiré des travaux de Swain et, plus précisément, du modèle simplifié de quantification des actions de conduite post-accidentelles (le « screening model ») de la méthode "HRA procédure ASEP" [ASEP : Programme d'Évaluation de séquence Accidentelle].

En outre, comme des échecs de contrôle pendant l'accident peuvent être récupérés sous certaines conditions, le modèle simplifié a été complété afin de prévoir des facteurs de récupération.

2.3.2.2. Analyse de la fiabilité humaine en conduite normale (actions pré-accidentelles)

Les actions pré-accidentelles sont réalisées en exploitation normale. Comme elles ont une incidence sur les systèmes de sauvegarde, elles peuvent contribuer à un accident ou gêner sa récupération.

Ces actions peuvent survenir à l'occasion de la manipulation d'un actionneur. Concernant les systèmes de sûreté, ces manipulations sont réalisées lors des essais périodiques et de la maintenance. Pour cela, l'échec de missions antérieures à un initiateur est souvent assimilé à l'échec de l'intervention réalisée au cours des tests ou de la maintenance, bien qu'il n'y ait pas d'équivalence complète (p. ex. vanne ASG manuelle, maintenue en position fermée).

Définition :

La probabilité d'échec d'une mission de conduite pré-accidentelle est quantifiée par la formule suivante :

$$P = P_b \times P_{NR}$$

où :

- **P_b est la Probabilité de base de l'échec de l'action humaine**
Une valeur conservatrice de P_b est prise pour P_b . Ce chiffre représente la combinaison d'une probabilité générique d'échec d'action humaine de P_b évaluée pour une omission et une probabilité de P_b évaluée pour l'accomplissement incorrecte d'une tâche, P_b . Cette valeur couvre les positions erronées d'actionneurs (vannes, disjoncteur débroché, ...) mais également la défaillance de réalisation d'une étape critique lors d'une procédure de calibrage (calibrage de CC ou d'un actionneur, réglage de pression d'un détendeur, ...).
- **P_{NR} est la Probabilité de non-récupération**
Afin d'évaluer les effets des actions de récupération sur P_b , quatre catégories de facteurs de récupération sont définies (P_{NR}). Une probabilité de non récupération P_{NR} est associée à chaque catégorie comme l'indique le tableau ci-dessous.

Quantification :

Le tableau suivant présente les valeurs de la probabilité de non-récupération des actions pré-accidentelles (P_{NR}), par catégorie :

□

2.3.2.3. Analyse de la fiabilité humaine en conduite accidentelle (actions post-accidentelles)

Les actions post-accidentelles s'inscrivent dans le cadre de la gestion de l'accident. L'échec de ces actions caractérise les erreurs de diagnostic (choix d'une mauvaise procédure accidentelle ou mauvais suivi de la procédure) et les erreurs de l'opérateur dues à une mise en œuvre incorrecte ou tardive des actions de sauvegarde prévues dans les procédures de conduite accidentelles.

Les paramètres utilisés au premier ordre pour l'évaluation de la probabilité d'échec de la mission sont le délai à disposition pour la réalisation de cette mission, le niveau de stress subi, la localisation (depuis la salle de commande ou en local) de l'action à entreprendre. Ces paramètres sont évalués lors de la réalisation des études support.

Définition :

La probabilité de défaillance d'une mission de conduite post-accidentelle est quantifiée par la formule suivante :

$$P = P_{\text{diag}} + (1 - P_{\text{diag}}) \times P_a \times P_{\text{NRa}}$$

où :

- **P_{diag} est la Probabilité de diagnostic incorrect**

□

- **P_a est la Probabilité d'action incorrecte lors d'un diagnostic correct**

La probabilité d'action incorrecte, P_a , dépend du niveau de stress imposé par la mission :

- $P_a = \square$ pour les actions réalisées sous un niveau de stress □ comme l'enclenchement d'une procédure de type gavé-ouvert ;
- $P_a = \square$ pour les actions réalisées sous un niveau de stress □ dont la conduite est sans ambiguïté. C'est le cas de la majorité des actions modélisées dans l'EPS.

- **P_{NRa} est la Probabilité de non-récupération d'une action incorrecte**

La probabilité de non récupération d'une action incorrecte, P_{NRa} , dépend du temps maximum disponible (T_{max}) pour réaliser le diagnostic (T_{diag}) et l'action (T_a). Il peut dépendre aussi d'un changement de paramètres physiques et si l'action est réalisée en salle de commande ou non.

Le tableau suivant présente les valeurs de probabilité de non-récupération en cas d'action erronée (P_{NRa}), en fonction du temps maximum disponible (T_m) :

□

Quantification :

Le tableau suivant présente les valeurs de la probabilité de défaillance d'une action post-accidentelle (P) réalisée depuis la salle de commande, en fonction du temps maximum disponible (T_m) :

□

(a) T_m = délai maximum pour le diagnostic et l'action, évalué par les études support, exprimé en minutes

(b) T_{diag} = délai de diagnostic = □ pour une action réalisée en salle de commande

(c) $P_{\text{diag}}(T_{\text{diag}})$ selon □

(d) $P = \square$

(e) $P_a = \square$ pour le gavé ouvert, $P_a = \square$ pour les autres actions

(f) pour □

Nota : Les actions opérateur supérieures à □ sont identifiées et prises en compte dans les analyses fonctionnelles, □. En effet, □. Une hypothèse spécifique a été prise dans le cadre des études sur les scénarios d'APRP conduisant à des bipses du confinement. □.

2.4. MAINTENANCE PRÉVENTIVE

2.4.1. Principes généraux

2.4.1.1. Prise en compte de la maintenance préventive

La maintenance préventive est intégrée dans l'EPS [Réf \[1\]](#), directement au niveau des arbres de défaillance des missions systèmes. Elle peut être activée ou non, selon l'analyse souhaitée, en considérant l'indisponibilité d'un train d'un système maintenu, caractérisée par un événement de base.

La modélisation de la maintenance préventive dans l'EPS s'appuie donc sur les éléments suivants :

- L'activation ou non de la prise en compte de la maintenance préventive dans la modélisation ;
- Un arbre de défaillance, pour chaque système maintenu, correspondant à la perte d'un train due à la maintenance préventive ;
- Des événements de base représentant les pertes de trains pour maintenance préventive ;
- Un certain nombre de conditions couvrant les différentes combinaisons de prise en compte de la maintenance préventive (incompatibilité de maintenance).

2.4.1.2. Principe de modélisation

Affectation de la maintenance

Dans le but de simplifier la modélisation, le principe général retenu dans l'EPS est d'appliquer l'indisponibilité pour maintenance sur . Dans ce cas, elle est appliquée . Cette hypothèse est enveloppe puisque l'on considère par ailleurs tout initiateur affectant le .

Incompatibilité de maintenance

Sur l'EPR, la réalisation de la maintenance préventive est privilégiée en puissance. Les incompatibilités de maintenance entre systèmes, liées aux contraintes d'exploitation, sont prises en compte dans la modélisation de la maintenance dans l'EPS. Celle-ci s'appuie sur deux approches distinctes, présentées ci-après : la modélisation par « phase » qui permet d'éviter les cumuls de maintenance et la modélisation « classique » qui traite la maintenance d'un système de manière indépendante.

Hypothèses de modélisation

Les hypothèses retenues, spécifiques à la modélisation de la maintenance préventive dans l'EPS, en particulier les durées d'indisponibilité (ramenées à l'année calendaire) et les incompatibilités de maintenance en puissance, sont établies sur la base des connaissances actuelles des programmes de maintenance. Ces hypothèses de modélisation sont spécifiques à l'EPS et sont susceptibles d'évoluer en fonction de l'établissement des nouveaux programmes de maintenance préventive.

2.4.2. Modélisation de la maintenance préventive

2.4.2.1. Modélisation par "phase"

L'utilisation de phase (et de sous-phases) de maintenance, permet de modéliser les incompatibilités de maintenance entre systèmes (et entre trains d'un même système). Aucune maintenance entre phase (et sous-phase) ne peut donc avoir lieu simultanément.

Afin d'éviter trop de conservatisme lié à l'application de la maintenance sur , certaines phases ont été découpées en sous-phases, chacune considérant l'indisponibilité d'un train du système maintenu :

- La phase 1, intégrant les diesels principaux, est découpée en 4 sous-phases, ;

- La phase 3, sur les diesels d'ultime secours, est découpée en 2 sous-phases ;
- La phase 5 est découpée en 2 sous-phases pour distinguer la maintenance à l'arrêt des diesels d'ultime secours, de la maintenance à l'arrêt des diesels principaux (et des systèmes de la phase 1).

Le découpage final des phases de maintenance, retenu dans l'EPS, est le suivant :

Phase 1 :

□

Phase 2 :

□

Phase 3 :

□

Phase 4 :

□

Phase 5 :

□

2.4.2.2. Modélisation "classique"

La maintenance des systèmes non couverts par les phases prédéfinies est également modélisée dans l'EPS. La modélisation des activités de maintenance retenue dans l'EPS est la suivante :

- Maintenance en puissance (états A et B) de □ jours, appliquée sur un train des systèmes APA et CEX ;
- Maintenance en puissance (états A et B) de □ jours, appliquée sur un train du système SEN ;
- Maintenance à l'arrêt (états D, E et F) de □ jours, appliquée sur un train du système SRI ;
- Maintenance à l'arrêt sur la totalité des états D, E et F, appliquée sur un train du système CRF ;
- Maintenance à l'arrêt sur la totalité de l'état E, appliquée sur une file du système SAR ;
- Maintenance à l'arrêt sur la totalité de l'état F, appliquée sur un train du système RBS.

2.5. HYPOTHESES GENERALES SUR LA MODELISATION DES SYSTEMES

2.5.1. Méthodologie

Les principes liés à la méthode et aux règles d'analyse visant à rédiger les documents d'étude de la fiabilité de la conception des systèmes EPR sont détaillés ci-dessous.

Pour la construction des scénarios d'accidents, les missions des systèmes sollicités, identifiées par analyse fonctionnelle, sont analysées. Chaque système est modélisé à partir d'un certain nombre de données d'entrées : les missions auxquelles il participe, l'identification et le rôle de ses divers composants, ses différentes configurations possibles, la maintenance des matériels et les interfaces avec les autres systèmes.

La modélisation des missions systèmes utilise la méthode de traitements booléens par arbres de défaillances. Il s'agit d'une méthode déductive dont l'objectif est de déterminer au moyen d'une structure arborescente (porte logique ET, OU...), l'ensemble des combinaisons possibles entraînant

l'apparition d'un événement indésirable dont on peut estimer la probabilité d'occurrence. Les paramètres de fiabilité de ces événements de base, sont décrits dans le [§ 2.1.](#)

Un arbre de défaillance est élaboré pour chaque mission. Cela permet d'identifier de manière qualitative l'ensemble des coupes minimales entraînant l'échec de la mission et de calculer la probabilité de cet échec et des coupes minimales [Réf \[7\]](#) :

- Une coupe représente une combinaison de défaillances matérielles ou humaines entraînant l'occurrence d'un événement (comme échec d'une mission frontale), ou d'une séquence ou d'une conséquence ;
- On appelle coupe minimale toute coupe constituée par la plus petite combinaison possible de défaillances matérielles ou humaines conduisant à la réalisation d'un événement d'une séquence ou d'une conséquence.

2.5.2. Temps de mission des systèmes

Comme une méthode booléenne est utilisée, la fiabilité des systèmes peut uniquement être quantifiée pour un temps de mission unique sans possibilité de réparation, indépendamment de la durée effective des diverses missions requises.

L'EPS du modèle EPR privilégie une durée de mission de h, .

Nota : cette valeur est pénalisante pour des initiateurs prévoyant une récupération rapide (comme la perte totale des) ou avec une dynamique rapide (ATWS).

2.5.3. Introduction des systèmes supports dans l'EPS

Les systèmes supports garantissent le bon fonctionnement des systèmes frontaux en fournissant une source de puissance (électricité, vapeur, air comprimé, etc.) et de conservation (eau réfrigérée, air de ventilation, graissage, etc.).

Dans cette EPS, les systèmes supports suivants ont été retenus et modélisés :

- Les sources électriques (haute et basse tension) ;
- Le circuit de réfrigération intermédiaire (RRI) ;
- L'eau brute secourue (SEC) ;
- La diversification de la source froide pour les trains 1 et 4 des pompes ISBP (par DEL) ;
- Les sources froides diversifiées de la chaîne de refroidissement d'un EVU dédié (et troisième train PTR) ;
- Les circuits d'appoint en eau pour le refroidissement des systèmes du secondaire nécessaires à l'alimentation en eau des GV (SEN/SRI) ;
- Le circuit de distribution d'air comprimé de régulation (SAR).

2.6. HYPOTHESES GENERALES SUR LA MODELISATION DES SEQUENCES ACCIDENTELLES

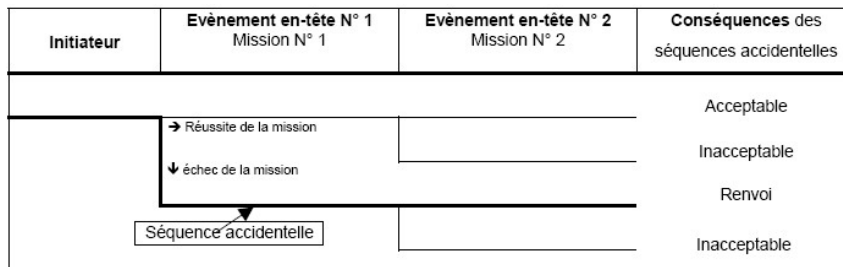
2.6.1. Définitions

2.6.1.1. Arbres d'événements

Une séquence accidentelle est l'enchaînement d'un événement initial (initiateur) et d'événements successifs (événements en-tête) en succès ou en échec, caractérisant les différentes parades des missions EPS. La modélisation de ces séquences repose sur la méthode des arbres d'événements. Cette méthode déductive consiste à envisager, pour chaque initiateur, le succès ou l'échec des systèmes et actions de conduite mis en oeuvre pour arrêter la propagation de l'incident ou l'accident.

Cela permet de visualiser le déroulement des scénarios possibles, par l'enchaînement des missions requises, en tenant compte des dépendances temporelles et fonctionnelles entre événements. L'analyse des séquences accidentelles conduit à des conséquences, détaillées au paragraphe suivant, caractérisant l'atteinte ou non d'un état conduisant à la fusion du coeur.

Un exemple d'arbre d'évènements est donné ci-dessous.



2.6.1.2. Conséquences

Une conséquence représente l'état final d'une séquence accidentelle dans un délai imparti (temps de scrutation de la séquence).

Tous les critères et toutes les données de découplage nécessaires à la catégorisation des conséquences des événements ont été définis avec précision au début de chaque étude.

EPS du Bâtiment Réacteur

Pour l'EPS EPR de niveau 1 du BR, les conséquences recouvrent les trois types suivants :

- Les conséquences de type acceptable (CA – Conséquence Acceptable) indiquent que l'ensemble des missions système et actions humaines résultant de l'occurrence d'un initiateur ont permis globalement de ne pas dépasser les critères d'endommagement du coeur ;
- A l'inverse, les conséquences de type inacceptable (CI – Conséquence Inacceptable) caractérisent les séquences menant à la fusion du coeur ;
- Les conséquences de type renvoi sont mentionnées lorsque les conséquences issues de séquences accidentelles sont réintroduites dans d'autres arbres d'évènements sous forme d'initiateurs.

Concernant les conséquences d'un type inacceptable, les critères de découplage ont été utilisés.

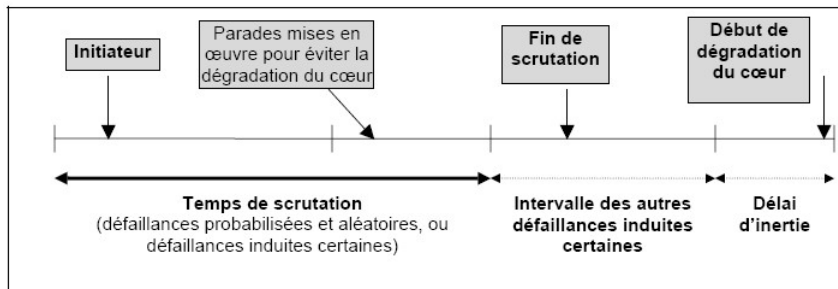
EPS du Bâtiment Combustible

Pour l'EPS EPR de niveau 1 du BK, les conséquences recouvrent les trois types suivants :

- Les conséquences de type acceptable (CA – Conséquence Acceptable) sont caractérisées par la récupération d'un moyen de refroidissement de la piscine ;
- A l'inverse, les conséquences de type inacceptable (CI – Conséquence Inacceptable) caractérisent les séquences menant à la fusion des assemblages combustible suite à leur découvrtement considérée sur la base du critère de découplage de découvrtement du haut d'un assemblage ;
- Les conséquences de type ébullition de la piscine (CE – Conséquence Ebullition) sont considérées lors de l'atteinte d'une température de l'eau supérieure à un certain seuil.

2.6.1.3. Temps de scrutation

Le temps de scrutation d'une séquence est l'intervalle de temps après un initiateur pendant lequel on étudie l'occurrence de défaillances probabilisées et aléatoires affectant les missions EPS. Dans le cas d'une séquence acceptable, il s'agit du temps pris pour atteindre l'état sûr ou l'état de repli. Ce délai est limité à 1 h. Pour une séquence redoutée, il s'agit généralement d'un délai différent et plus court que le temps d'atteinte du début de dégradation du cœur. Il se définit par l'instant de fin des dernières missions frontales, ultimes parades pour éviter la dégradation du cœur. La figure ci-dessous illustre les diverses notions de temps concernant les séquences accidentelles.



2.6.2. Modélisation des séquences accidentelles de l'EPS de Niveau 1

L'EPS EPR utilise la méthode de l'arbre d'événements pour la modélisation des séquences accidentelles.

L'analyse fonctionnelle détaillée, réalisée précédemment pour identifier les missions systèmes facilite la construction de l'arbre d'événements.

Pour chaque initiateur donné, l'élaboration des séquences accidentelles passant par le succès ou l'échec des missions requises pour restaurer les fonctions de sûreté est réalisée sous forme d'arborescence.

Une conséquence est ensuite liée à chaque séquence accidentelle.

En résumé, les éléments suivants sont nécessaires pour élaborer un arbre d'événements :

- La donnée d'un initiateur ;
- L'identification des missions de sauvegarde requises (analyse fonctionnelle) et leur modélisation ;
- La construction d'une arborescence constituant une représentation graphique des séquences accidentelles.

3. RESULTATS DE L'EPS DE NIVEAU 1 DU BR

3.1. REPARTITION DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR PAR FAMILLE D'INITIATEURS

Les tableaux récapitulatifs suivants décrivent brièvement, pour chaque famille d'initiateurs, les séquences accidentelles résultant des arbres d'événements de niveau 1 et précise leur fréquence d'occurrence. Seules les principales séquences entraînant une fusion du cœur de fréquence supérieure à 10^{-9} (ou $10^{-10}/a.r$ lorsque le risque lié à la famille est faible) sont présentées dans les tableaux.

Cette synthèse des résultats par famille d'initiateurs est issue du document en [Réf \[4\]](#).

3.1.1. FAMILLE "BRÈCHE EXTERIEUR ENCEINTE SUR ISBP/RA"**3.1.1.1. Risque lié à la famille**

Le risque de fusion lié à la famille « brèche extérieur enceinte sur ISBP/RA » peut être réparti en fonction des initiateurs suivants :

- Petite brèche extérieur enceinte sur ISBP-RA (< 20 cm²) en états C et D : 3,5 10⁻¹⁰/a.r.
- Brèche extérieur enceinte sur ISBP-RA (> 20 cm²) en états C et D : 3,0 10⁻¹⁰/a.r.

La fréquence de fusion du cœur pour cette famille est de \square /a.r.

3.1.1.2. Séquence prédominante

La séquence prédominante des accidents de la famille "Brèche extérieur enceinte sur ISBP/RA" est la suivante :

| Initiateur | Breve description | Fréquence de fusion du cœur (/a.r.) |
|------------|-------------------|-------------------------------------|
| \square | \square | \square |

3.1.1.3. Analyse des résultats

L'initiateur de « Petite brèche extérieur enceinte sur ISBP-RA (< 20 cm²) » représente environ 58% du risque de fusion du cœur de la famille.

L'initiateur de « Brèche extérieur enceinte sur ISBP-RA (> 20 cm²) » représente environ 42% du risque de fusion du cœur de la famille.

\square

3.1.2. FAMILLE "ACCIDENT DE PERTE DE RÉFRIGÉRANT PRIMAIRE" (APRP)**3.1.2.1. Risque lié à la famille**

Le risque de fusion lié à la famille APRP peut être réparti en fonction des initiateurs suivants :

- Brèche primaire non isolable (2-20cm²) en états A et B : 2,4 10⁻⁹/a.r.
- Brèche primaire non isolable (20-45cm²) en états A et B : 2,1 10⁻⁹/a.r.
- Brèche primaire non isolable (45-125cm²) en états A et B : 3,4 10⁻⁸/a.r.
- Brèche primaire non isolable (125-830cm²) en branche froide en états A et B : 9,3 10⁻⁹/a.r.

- Brèche primaire non isolable (125-830cm²) en branche chaude en états A et B : 3,8 10⁻⁹/a.r.
- Brèche au pressuriseur en états A, B et C : 2,7 10⁻¹³/a.r.
- Brèche primaire isolable (1-20 cm²) en états C et D : 4,9 10⁻⁹/a.r.
- Brèche primaire isolable (20-830cm²) en états C, D et E : 2,2 10⁻¹⁰/a.r.

La fréquence de fusion du cœur pour la famille APRP est de \square /a.r.

3.1.2.2. Séquences prédominantes

Les séquences prédominantes des accidents de la famille « APRP » sont les suivantes :

| Initiateur | Brève description | Fréquence de fusion du cœur (/a.r.) |
|------------|-------------------|-------------------------------------|
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |

3.1.2.3. Analyse des résultats

- L'initiateur "brèche primaire non isolable (45-125cm²) en états A et B" représente environ 60% du risque de fusion de la famille APRP.
- L'initiateur "Brèche primaire non isolable (125-830cm²) en branche froide en états A et B" représente environ 16% du risque de fusion de la famille APRP.
- L'initiateur "Brèche primaire isolable (1-20 cm²) en états C et D" représente environ 9% du risque de fusion de la famille APRP.
- L'initiateur "Brèche primaire non isolable (125-830cm²) en branche chaude en états A et B" représente environ 7% du risque de fusion de la famille APRP.

\square

3.1.3. FAMILLE "RUPTURE DE TUYAUTERIE SECONDAIRE" (RTS)

3.1.3.1. Risque lié à la famille

Le risque de fusion associé à la famille Brèches Secondaires (RTS) peut être réparti sur la base des types d'initiateurs suivants :

- Ouverture intempestive d'une VDA avec refus de refermeture dans les états A et B : 8,9 10⁻¹⁰/a.r.
- Grosse RTV extérieur enceinte en aval de la VIV dans les états A et B : 9,7 10⁻¹⁰/a.r.
- Petite RTV extérieur enceinte en amont de la VIV dans les états A et B : 1,2 10⁻⁸/a.r.
- Grosse RTE dans les états A et B : 1,2 10⁻¹¹/a.r.
- Petite RTE dans les états A et B : 2,9 10⁻¹¹/a.r.
- Rupture de ligne vapeur avec rupture de tube de générateur de vapeur (RTV-RTGV) dans les états A et B :
- Vannes de décharge de vapeur principale maintenues ouvertes (VDA) + RTGV deux tubes : 5,5 10⁻¹⁰/a.r.
- Grosse RTV extérieur enceinte, en aval des vannes d'isolement de vapeur + RTGV deux tubes : 4,2 10⁻¹⁰/a.r.
- Petite RTV extérieur enceinte, en amont des vannes d'isolement de vapeur + RTGV deux tubes : 3,4 10⁻⁹/a.r.

La fréquence de fusion du cœur pour la famille RTS est de \square /a.r.

3.1.3.2. Séquences prédominantes

Les séquences prédominantes des accidents de la famille « RTS » sont les suivantes :

| Initiateur | Brève description | Fréquence de fusion du cœur (/a.r.) |
|------------|-------------------|-------------------------------------|
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |

3.1.3.3. Analyse des résultats

Les principaux initiateurs contributeurs au risque de fusion du cœur associé à la Famille RTS sont :

- Petite RTV extérieur enceinte en amont de la VIV dans les états A et B (environ 65% de la famille),
- Petites RTV extérieur enceinte en amont des vannes d'isolement de vapeur + RTGV 2 tubes dans les états A et B (environ 19% de la famille),
- Grosse RTV extérieur enceinte en aval de la VIV dans les états A et B (environ 5,5% de la famille).

La séquence avec une fréquence de $1,1 \cdot 10^{-8}$ représente à elle seule la totalité du risque lié aux petites RTV extérieur enceinte en amont de la VIV.

Les initiateurs de RTE représentent moins de 1% de la famille RTS.



3.1.4. FAMILLE "RUPTURE DE TUBE DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR" (RTGV)

3.1.4.1. Risque lié à la famille

Le risque de fusion lié à la famille RTGV est composé des initiateurs suivants :

- | | | |
|---|-----------------------------------|----------------------|
| - | RTGV un tube en états A et B : | 5,5 10^{-9} /a.r. |
| - | RTGV deux tubes en états A et B : | 7,7 10^{-10} /a.r. |
| - | RTGV multiple dans l'état A1 : | 5,6 10^{-13} /a.r. |
| - | Petite RTGV en état A : | 4,6 10^{-9} /a.r. |

La fréquence de fusion du cœur pour la famille RTGV est de \square /a.r.

3.1.4.2. Séquences prédominantes

Les séquences prédominantes des accidents de la famille « RTGV » sont les suivantes :

| Initiateur | Brève description | Fréquence de fusion du cœur (/a.r.) |
|------------|-------------------|-------------------------------------|
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |

3.1.4.3. Analyse des résultats

Les ruptures d'un tube de générateur de vapeur en puissance représentent environ 51% du risque de fusion de la famille RTGV. Les petites ruptures de tubes de générateur de vapeur en puissance représentent 42% du risque de fusion de la famille.

Les principaux scénarios correspondent soit :

□

Pour éviter le débordement GV, la mise en place d'un signal automatique permet de réaliser l'arrêt automatique du RCV. L'isolement automatique de la ligne de charge F1A lorsque le niveau GV > max 2 est pris en compte, si le refroidissement partiel est terminé.

3.1.5. FAMILLE "TRANSITOIRES SECONDAIRES" (TGTA)

3.1.5.1. Risque lié à la famille

Le risque de fusion lié à la famille TGTA est composé des initiateurs suivants :

- Perte de l'alimentation normale des GV hors perte APA (secours impossible par AAD) dans les états A1 et A2 : 4,4 10⁻⁹/a.r.
- Perte de l'alimentation normale des GV par perte APA (secours possible par AAD) dans les états A1 et A2 : 5,8 10⁻¹²/a.r.
- Perte de l'alimentation normale des GV dans les états A3 à B : 2,2 10⁻¹⁰/a.r.

La fréquence de fusion du cœur pour la famille « transitoires secondaires » est de □/a.r.

3.1.5.2. Séquences prédominantes

Les séquences prédominantes des accidents de la famille « TGTA » sont les suivantes :

| Initiateur | Brève description | Fréquence de fusion du cœur (/a.r.) |
|------------|-------------------|-------------------------------------|
| □ | □ | □ |
| □ | □ | □ |

3.1.5.3. Analyse des résultats

L'initiateur « Perte de l'alimentation normale des GV hors perte APA, secours impossible par AAD » dans les états A1 et A2 est le contributeur principal au risque porté par la famille TGTA (95% du risque).

Parmi les coupes associées à cet initiateur, la première est une coupe d'ordre 3, représentant 29% du risque de fusion du cœur induit par la famille TGTA, soit une fréquence de 1,3.10⁻⁹ /a. r. Elle est constituée par :

- la défaillance en fonctionnement avant 4 heures des 4 motopompes ASG par mode commun,
- l'échec de la mission opérateur de réalisation du gavé-ouvert en moins de 70 minutes.

3.1.6. FAMILLE "PERTE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES HAUTE TENSION" (PSL HT)

3.1.6.1. Risque lié à la famille

Le risque de fusion lié à la famille PSL HT est composé des initiateurs suivants :

- Perte des alimentations électriques externes courte 2 heures dans les états A à D : $3,4 \cdot 10^{-8}/a.r.$
- Perte des alimentations électriques externes longue 24 heures dans les états A à D : $9,5 \cdot 10^{-8}/a.r.$
- Perte de l'alimentation électrique principale dans les états A à D : $1,1 \cdot 10^{-8}/a.r.$

La fréquence de fusion du cœur après une perte totale des alimentations électriques haute tension est de $\square/a.r.$

3.1.6.2. Séquences prédominantes

Les séquences prédominantes des accidents de la famille « PSL HT » sont les suivantes :

| Initiateur | Brève description | Fréquence de fusion du cœur (/a.r.) |
|------------|-------------------|-------------------------------------|
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |

3.1.6.3. Analyse des résultats

L'initiateur de perte des alimentations électriques externes longue 24 heures présente la plus forte contribution au risque de fusion du cœur induit par cette famille, soit 68%. Les initiateurs de perte des alimentations électriques externes courte 2 heures et de perte de l'alimentation électrique principale représentent respectivement environ 24% et 8% du risque de la famille.

\square

3.1.7. FAMILLE "PERTE DE SOURCES ELECTRIQUES BASSE TENSION" (PSL BT)

3.1.7.1. Risque lié à la famille

Le risque de fusion lié à la famille PSL BT est composé des initiateurs suivants :

- Perte de sources électriques internes basse tension hors tableau de MCG dans les états A à D : 1,7 10⁻⁹/a.r.
- Perte d'un tableau d'alimentation des Mécanismes de Commande des Grappes (MCG) dans les états A1 et A2 : 7,9 10⁻¹⁰/a.r.

La fréquence de fusion du cœur pour la famille de perte de sources électriques basse tension est de \square /a.r.

3.1.7.2. Séquences prédominantes

Les séquences prédominantes des accidents de la famille « PSL BT » sont les suivantes :

| Initiateur | Brève description | Fréquence de fusion du cœur (/a.r.) |
|------------|-------------------|-------------------------------------|
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |

3.1.7.3. Analyses des résultats

L'initiateur de Perte de sources électriques internes basse tension hors tableau de MCG dans les états A à D présente la plus forte contribution au risque de fusion du cœur induit par cette famille, soit environ 68%.

L'initiateur de perte d'un tableau d'alimentation des Mécanismes de Commande des Grappes (MCG) dans les états A1 et A2 représente alors 32% du risque de la famille.

\square

3.1.8. FAMILLE "TRANSITOIRES PRIMAIRES" (TRCP)

3.1.8.1. Risque lié à la famille

Le risque de fusion lié à la famille Transitoires Primaires (TRCP) est composé des initiateurs suivants (regroupés en sous-familles) :

- Dilution homogène isolable dans les états A à E : 1,3 10⁻⁸/a.r.
- Dilution homogène non isolable, en états C, D et E : 1,1 10⁻⁹/a.r.
- Perte d'une pompe primaire en état A1 : 2,1 10⁻⁹/a.r.
- Perte totale des pompes RIS en état RRA connecté dans les états Ca1 à D : 1,2 10⁻⁹/a.r.

- Perte d'une pompe RCV dans les états A à B3 : $2,4 \cdot 10^{-9}/a.r.$
- Perte de la ligne de charge RCV et de l'injection aux joints dans les états A à B3 : $4,5 \cdot 10^{-12}/a.r.$
- Chute de 3 ou 4 grappes dans les états A1-A2 : $3,5 \cdot 10^{-11}/a.r.$
- Baisse incontrôlée du niveau primaire dans les états Cb1 à D : $5,4 \cdot 10^{-10}/a.r.$

La fréquence de fusion du cœur pour la famille transitoires primaires (TRCP) est de $\square/a.r.$

Nota : Dilutions

Il convient de distinguer deux types de dilution :

- Dilutions homogènes : la concentration de bore est approximativement la même dans tout le circuit primaire.
- Dilutions hétérogènes : les bouchons d'eau claire avec une faible concentration de bore sont formés dans certaines parties du circuit primaire, alors que la concentration de bore dans le reste du circuit primaire ne change pas.

La section 18.1.3 décrit les différents scénarios étudiés dans le cadre des dilutions hétérogènes.

3.1.8.2. Séquences prédominantes

Les séquences prédominantes des accidents de la famille « TRCP » sont les suivantes :

| Initiateur | Brève description | Fréquence de fusion du cœur (/a.r.) |
|------------|-------------------|-------------------------------------|
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |

3.1.8.3. Analyse des résultats

\square

3.1.9. FAMILLE "PERTE DE SOURCE FROIDE (PSF)"

3.1.9.1. Risque lié à la famille

Le risque de fusion lié à la famille « Perte de Source Froide » est composé des initiateurs suivants :

- Défaillance mécanique intrinsèque d'un des trains RRI/SEC en service dans les états A à D : $2,1 \cdot 10^{-8}/a.r.$
- Défaillance mécanique par cause commune de deux trains RRI/SEC en service dans les états A à D : $1,8 \cdot 10^{-9}/a.r.$
- Défaillance mécanique par cause commune de trois trains RRI/SEC dans les états B à D : $6,9 \cdot 10^{-9}/a.r.$
- Défaillance mécanique par cause commune des quatre trains RRI/SEC en service dans les états B à D : $5,0 \cdot 10^{-8}/a.r.$
- Rupture d'un commun RRI non automatiquement compensable par le réservoir RRI dans les états A à Ca3 : $4,3 \cdot 10^{-10}/a.r.$
- Rupture d'un des deux trains RRI en service (à l'exclusion des lignes des communs), non automatiquement compensable par le réservoir RRI dans les états A à D : $4,2 \cdot 10^{-10}/a.r.$
- Perte de la station de pompage suite à une arrivée massive de corps marins dans les états A à D : $7,7 \cdot 10^{-9}/a.r.$

La fréquence de fusion du cœur pour la famille « Perte de source froide » est de $\square/a.r.$

3.1.9.2. Séquences prédominantes

Les séquences prédominantes des accidents de la famille « PSF » sont les suivantes :

| Initiateur | Brève description | Fréquence de fusion du cœur (/a.r.) |
|------------|-------------------|-------------------------------------|
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |

3.1.9.3. Analyse des résultats

\square

3.1.10. FAMILLE "TRANSITOIRE SANS ARRÊT AUTOMATIQUE DU RÉACTEUR" (ATWS)**3.1.10.1. Risque lié à la famille**

Le risque de fusion lié à la famille peut être réparti selon les différents types d'initiateurs suivants :

| | |
|--|-----------------------------|
| - Retrait incontrôlé d'une grappe causant un ATWS en état A : | 6,7 10 ⁻¹¹ /a.r. |
| - Excès de vapeur causant un ATWS en état A : | 2,0 10 ⁻⁰⁹ /a.r. |
| - Fermeture intempestive d'une VIV causant un ATWS en état A : | 1,4 10 ⁻⁰⁹ /a.r. |
| - Défaillance d'un train RRI en service causant un ATWS en état A : | 1,1 10 ⁻¹⁰ /a.r. |
| - Perte d'une pompe primaire causant un ATWS en état A : | 2,2 10 ⁻⁰⁹ /a.r. |
| - Perte de la station de pompage causant un ATWS en état A : | 7,4 10 ⁻¹³ /a.r. |
| - Perte totale d'eau alimentaire GV causant un ATWS en état A : | 8,5 10 ⁻⁰⁹ /a.r. |
| - Perte d'alimentation principale causant un ATWS en état A : | 1,0 10 ⁻⁰⁸ /a.r. |
| - Perte d'alimentation électrique externe courte causant un ATWS en état A : | 1,8 10 ⁻⁰⁸ /a.r. |
| - Perte d'alimentation électrique externe longue causant un ATWS en état A : | 4,6 10 ⁻⁰⁹ /a.r. |
| - Rupture d'un des deux communs RRI causant un ATWS en état A : | 2,7 10 ⁻¹⁰ /a.r. |
| - Rupture d'un train RRI en service causant un ATWS en état A : | 1,2 10 ⁻¹⁰ /a.r. |
| - Perte totale de charge secondaire causant un ATWS en état A : | 8,5 10 ⁻¹⁰ /a.r. |
| - Brèche primaire (125-830cm ²) causant un ATWS en état A : | 1,8 10 ⁻¹⁰ /a.r. |
| - Brèche primaire (20-125cm ²) causant un ATWS en état A : | 6,9 10 ⁻¹⁰ /a.r. |
| - Brèche primaire (2-20cm ²) causant un ATWS en état A : | 4,0 10 ⁻⁰⁹ /a.r. |

| | |
|---|-----------------------------|
| - Brèche aux soupapes pressuriseur causant un ATWS en état A : | 1,2 10 ⁻⁰⁸ /a.r. |
| - Chute de 3 ou 4 grappes causant un ATWS en état A : | 8,9 10 ⁻⁰⁹ /a.r. |
| - Grosse RTV hors enceinte en aval de la VIV causant un ATWS en état A : | 4,1 10 ⁻¹¹ /a.r. |
| - Petite RTV hors enceinte en amont de la VIV causant un ATWS en état A : | 2,0 10 ⁻¹⁰ /a.r. |
| - Arrêt automatique du réacteur intempestif causant un ATWS en état A : | 5,5 10 ⁻⁰⁹ /a.r. |
| - Injection de sécurité intempestive causant un ATWS en état A : | 3,6 10 ⁻¹⁰ /a.r. |
| - DEA intempestif causant un ATWS en état A : | 1,9 10 ⁻⁰⁸ /a.r. |
| - Aspersions intempestives au pressuriseur causant un ATWS en état A : | 1,0 10 ⁻¹⁰ /a.r. |
| - Démarrage intempestif des chaufferettes du pressuriseur causant un ATWS en état A : | 3,3 10 ⁻¹¹ /a.r. |
| - RTGV 1 ou 2 tubes causant un ATWS en état A : | 1,4 10 ⁻⁰⁹ /a.r. |
| - Déclenchement turbine intempestif causant un ATWS en état A : | 4,3 10 ⁻⁰⁹ /a.r. |
| - Grosse RTE causant un ATWS en état A : | 7,3 10 ⁻¹² /a.r. |
| - Petite RTE causant un ATWS en état A : | 2,1 10 ⁻¹⁰ /a.r. |
| - Retrait incontrôlé d'une grappe causant un ATWS en état A : | 6,7 10 ⁻¹¹ /a.r. |
| - Excès de vapeur causant un ATWS en état A : | 2,0 10 ⁻⁰⁹ /a.r. |
| - Fermeture intempestive d'une VIV causant un ATWS en état A : | 1,4 10 ⁻⁰⁹ /a.r. |

La fréquence de fusion du cœur pour la famille "Transitoire Sans Arrêt automatique du Réacteur" est de \square /a.r.

3.1.10.2. Séquences prédominantes

Les séquences prédominantes des accidents de la famille « ATWS » sont les suivantes :

| Initiateur | Brève description | Fréquence de fusion du cœur (/a.r.) |
|------------|-------------------|-------------------------------------|
| □ | □ | □ |
| □ | □ | □ |
| □ | □ | □ |
| □ | □ | □ |

3.1.10.3. Analyse des résultats

L'origine des événements initiateurs de cette famille est partagée entre l'échec du Contrôle Commande (automate PS) et le blocage mécanique des grappes, ces défaillances entraînant la nécessité d'un signal d'AAR diversifié : ATWS.

□

3.1.11. FAMILLE "INTEMPESTIFS DU CONTRÔLE-COMMANDE"

3.1.11.1. Risque lié à la famille

Le risque de fusion lié à la famille "Intempestifs du Contrôle-Commande" peut être réparti selon les différents types d'initiateurs suivants :

- Ouverture intempestive d'une ligne de décharge 900 t/h du RCP dans les états A à Ca2 : 3,6 10⁻¹¹/a.r.
- Ouverture intempestive des soupapes de sécurité du pressuriseur RCP dans les états A à Ca2 : 1,4 10⁻⁸/a.r.
- Arrêt Automatique du Réacteur intempestif en état A1 et A2 : 1,2 10⁻⁸/a.r.
- Enclenchement intempestif de l'injection de sécurité dans les états A à Cb1 : 7,1 10⁻¹⁰/a.r.
- Enclenchement intempestif du DEA dans les états A à Ca3 : 8,2 10⁻⁹/a.r.
- Déclenchement Turbine intempestif en état A1 : 3,6 10⁻¹⁰/a.r.

La fréquence de fusion du cœur pour la famille "Intempestifs du Contrôle-Commande" est de □/a.r.

3.1.11.2. Séquences prédominantes

Les séquences prédominantes des accidents de la famille "Intempestifs C-C" sont les suivantes :

| Initiateur | Brève description | Fréquence de fusion du cœur (/a.r.) |
|------------|-------------------|-------------------------------------|
| □ | □ | □ |
| □ | □ | □ |
| □ | □ | □ |
| □ | □ | □ |

3.1.11.3. Analyse des résultats

L'initiateur « Ouverture intempestive d'une ligne de décharge 900 t/h du RCP » est principalement causé par la défaillance du Contrôle-Commande Accident Grave (CCAG) qui pilote les vannes de décharge. La séquence prédominante est en états A1 - A2 et correspond à l'échec des missions d'injection de sécurité par les pompes ISMP cumulé à l'échec de l'action humaine de lancement du refroidissement maximal.

□

3.2. SYNTHÈSE

Le tableau suivant précise la répartition du risque de fusion du cœur entre les diverses familles d'initiateurs.

□

3.3. REPARTITION DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR PAR ETAT STANDARD DU REACTEUR

Le tableau ci-après présente la répartition du risque total en fonction des différents états du réacteur et met en évidence le fait que les états en puissance représentent la plus grande partie du risque.

| Etats du Réacteur | Description | Fréquence fusion cœur (/a. r.) | Contribution | Etats Puissance / Arrêt |
|-------------------|-------------|--------------------------------|--------------|-------------------------|
| □ | □ | □ | □ | □ |
| □ | □ | □ | □ | |
| □ | □ | □ | □ | |
| □ | □ | □ | □ | |
| □ | | □ | □ | □ |

3.4. CONCLUSIONS

□

Ce résultat est conforme aux objectifs probabilistes présentés au chapitre 18.0 et rappelés ci-dessous.

- Pour les événements internes uniquement, c'est à dire en excluant les agressions internes et externes :
 - la fréquence de fusion du cœur doit être inférieure à 10^{-6} /a.r., tranche en puissance,
 - la fréquence de fusion du cœur pour les états d'arrêts doit être inférieure à celle des états en puissance,
- Dans les cibles de conception de 10^{-6} /a.r pour la fusion du cœur, la contribution de chaque famille ne doit pas être excessive.

Les indisponibilités pour maintenance préventive contribuent à hauteur de 0% au risque global de fusion du cœur. Cette évaluation est cohérente avec la recommandation exprimée dans les Directives Techniques selon laquelle « les indisponibilités dues à la maintenance préventive ne devraient pas conduire à une part importante de la fréquence globale de fusion du cœur ».

4. RÉSULTATS DE L'EPS DE NIVEAU 1 DU BK

4.1. REPARTITION DU RISQUE PAR FAMILLE D'INITIATEURS

Les tableaux récapitulatifs suivants décrivent brièvement, pour chaque famille d'initiateurs, les séquences accidentelles résultant des arbres d'événements de l'EPS BK et précisent leur fréquence d'occurrence. Ces éléments sont issus de la note en [Réf \[5\]](#).

Les transitoires étudiés sont regroupés par famille accidentelle de la manière suivante :

- **FPCSL** (Fuel Pool Cooling System Loss) : Perte totale du refroidissement de la piscine ;
- **FPD** (Fuel Pool Draining) : Vidange accidentelle de la piscine.

Seules les principales séquences entraînant une fusion des assemblages combustible ou une entrée en ébullition de la piscine, sont présentées dans les tableaux.

4.1.1. FAMILLE "PERTE TOTALE DE REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE" – (FPCSL)

4.1.1.1. Risque de fusion lié à la famille

La répartition par initiateur du risque de fusion des assemblages combustibles, de la famille « perte totale de refroidissement de la piscine », est présentée dans le tableau ci-après.

| Initiateur | Fréquence de fusion (/a.r.) |
|------------|-----------------------------|
| 0 | 0 |
| 0 | 0 |
| 0 | 0 |
| 0 | 0 |
| 0 | 0 |
| 0 | 0 |

0

La fréquence du risque de fusion des assemblages combustible de la piscine, pour la famille « perte totale de refroidissement de la piscine » est de \square /a.r, dont \square /a.r. dans les états A à D et \square /a.r. dans les états E et F.

4.1.1.2. Risque d'ébullition lié à la famille

La répartition par initiateur du risque d'entrée en ébullition de la piscine, de la famille « perte totale de refroidissement de la piscine », est présentée dans le tableau ci-après.

| Initiateur | Fréquence d'ébullition (/a.r.) |
|------------|--------------------------------|
| \square | \square |
| \square | \square |
| \square | \square |
| \square | \square |
| \square | \square |
| \square | \square |

\square

La fréquence du risque d'ébullition de la piscine, pour la famille « perte totale de refroidissement de la piscine » est de \square /a.r. , dont \square /a.r. dans les états A à D et \square /a.r. dans les états E et F.

4.1.1.3. Séquences prédominantes

Les 5 séquences prépondérantes de la famille des accidents de perte totale du refroidissement de la piscine sont présentées par ordre décroissant dans le tableau ci-après.

| Initiateur | Séquence | Valeur EPS BK (/a.r.) |
|------------|-----------|-----------------------|
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |
| \square | \square | \square |

| | | | |
|---|---|---|---|
| □ | □ | □ | □ |
| □ | □ | □ | □ |

4.1.1.4. Analyse des résultats**Risque de fusion**

□

Risque d'ébullition

□

4.1.2. FAMILLE "VIDANGE ACCIDENTELLE DE LA PISCINE" - FPD (FUEL POOL DRAINING)**4.1.2.1. Risque de fusion lié à la famille**

La répartition par initiateur du risque de fusion des assemblages combustibles, de la famille « vidange accidentelle de la piscine », est présentée dans le tableau ci-après.

| Initiateur | Fréquence de fusion (/a.r.) |
|------------|-----------------------------|
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |

| Initiateur | Fréquence de fusion (/a.r.) |
|------------|-----------------------------|
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |

La fréquence du risque de fusion des assemblages combustible de la piscine, pour la famille « vidange accidentelle de la piscine » est de ☐ /a.r., dont ☐/ a.r. dans les états A à D et ☐/ a.r. dans les états E et F.

4.1.2.2. Risque d'ébullition lié à la famille

La répartition par initiateur du risque d'entrée en ébullition de la piscine, de la famille « vidange accidentelle de la piscine », est présentée dans le tableau ci-après.

| Initiateur | Fréquence d'ébullition (/a.r.) |
|------------|--------------------------------|
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |
| ☐ | ☐ |

| Initiateur | Fréquence d'ébullition (/a.r.) |
|------------|--------------------------------|
| □ | □ |
| □ | □ |
| □ | □ |

La fréquence du risque d'ébullition de la piscine, pour la famille « vidange accidentelle de la piscine » est de □/a.r. , dont □/a.r. dans les états A à D et □/a.r. dans les états E et F.

4.1.2.3. Séquences prédominantes

Les 5 séquences prépondérantes de la famille des accidents de vidange piscine sont présentées par ordre décroissant dans le tableau ci-après.

| Initiateur | Séquence | Valeur EPS BK (/a.r) |
|------------|----------|----------------------|
| □ □ | □ □ | □ |
| □ □ | □ □ | □ |
| □ □ | □ □ | □ |
| □ □ | □ □ | □ |
| □ □ | □ □ | □ |

4.1.2.4. Analyse des résultats

Risque de fusion

□

Risque d'ébullition

□

4.2. REPARTITION PAR ETAT STANDARD DU REACTEUR ET PAR FAMILLE ACCIDENTELLE**4.2.1. RISQUE DE FUSION**

Le risque global de fusion des assemblages combustible présents dans la piscine de désactivation est de \square / (a.r.).

Le tableau ci-après présente la répartition du risque de fusion des assemblages combustible de la piscine, en fonction des différents états du réacteur et pour chaque famille accidentelle.

\square

4.2.2. RISQUE D'ÉBULLITION

La fréquence d'entrée en ébullition de la piscine est de \square / (a.r.).

Le tableau ci-après présente la répartition du risque d'entrée en ébullition de la piscine, en fonction des différents états du réacteur et pour chaque famille accidentelle.

\square

4.2.3. ANALYSE DES RÉSULTATS

\square

Risque de fusion

\square

Risque d'ébullition

\square

4.3. CONCLUSIONS

Le risque global de fusion des assemblages combustible présents dans la piscine de désactivation résultant du modèle EPS EPR BK de réalisation est de \square / (a.r.). Ce résultat confirme que le risque de fusion du combustible dans la piscine est pratiquement éliminé, conformément à l'objectif fixé dans les Directives Techniques, et ce, malgré les hypothèses conservatives retenues.

La fréquence d'entrée en ébullition de la piscine de désactivation résultant du modèle EPS EPR BK de réalisation est de \square . Les analyses de séquence accidentelle étant principalement focalisées sur l'atteinte des conséquences inacceptables (découverte d'un assemblage combustible), des hypothèses simplificatrices ont été prises concernant les séquences menant à ébullition et l'estimation du risque d'entrée en ébullition est de ce fait majorée.

LISTE DE RÉFÉRENCES

[1] “EPS EPR : Synthèse des données d’entrée de l’EPS EPR de réalisation” - note EDF ECEF091114A

[2] “Réévaluation et adaptation des fréquences des événements initiateurs pour l’EPS EPR de réalisation” - note EDF ENFCFF050208C

[3] “EPS EPR : Profil de fonctionnement du palier EPR” - note EDF ECEF050369C

[4] “EPS EPR : Synthèse des Arbres d’Evènements et des coupes principales de l’EPS EPR de réalisation - Evolutions par rapport à l’EPS EPR VDAC » - note EDF ECEF091640B

[5] “EPS EPR BK de réalisation : Note de synthèse” - note EDF ECEF090457B

[6] “Guide de modélisation du contrôle-commande pour l’EPS EPR de réalisation” - note EDF H-T51-2008-00259-FR1.0

[7] “EPS EPR : Synthèse de la quantification des missions de l’EPS EPR de réalisation issues des analyses de fiabilité systèmes” - note EDF ECEF090225B

[8] “Quantification des initiateurs de perte de la piscine de désactivation” - note EDF ENFCFF070505A

[9] “Etude des paramètres DCC pertinents pour les familles sensibles de l’EPS EPR” - note EDF H-T51-2007-02940-FR2.0

TAB-18.1.1.1 PROFIL DE FONCTIONNEMENT

□

TAB-18.1.1.2 DONNEES DE FIABILITE

□

TAB-18.1.1.3 PROBABILITÉ D'OCCURRENCE D'ÉVÉNEMENT

□

TAB-18.1.1.4 INITIATEURS DE L'EPS BR

□

TAB-18.1.1.5 INITIATEURS DE L'EPS BK

□



□

SOMMAIRE

.18.1.2 IDENTIFICATION DES DISPOSITIONS ET DES SEQUENCES

| | |
|---|-----------|
| FONCTIONNELLES RRC-A | 8 |
| 1. INTRODUCTION | 8 |
| 2. APPROCHE ADOPTÉE | 8 |
| 3. DONNÉES D'ENTRÉE DE L'ÉTUDE | 8 |
| 4. DISPOSITIONS RRC-A RETENUES VIS-À-VIS DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR | 8 |
| 4.1. SÉQUENCE SFA - ATWS PAR BLOCAGE MÉCANIQUE DE GRAPPES EN ÉTAT A | 8 |
| 4.2. SÉQUENCES SFB - ATWS PAR DÉFAILLANCE DU SYSTÈME DE PROTECTION DU RÉACTEUR (PS) EN ÉTAT A | 9 |
| 4.2.1. SÉQUENCE SFB_1 - ATWS PAR DÉFAILLANCE DU SYSTÈME DE PROTECTION DU RÉACTEUR EN ÉTAT A - AAR ACTIVÉ PAR LE SIGNAL DIVERSIFIÉ « BAS NIVEAU GV » | 9 |
| 4.2.2. SÉQUENCE SFB_2 - ATWS PAR DÉFAILLANCE DU SYSTÈME DE PROTECTION DU RÉACTEUR EN ÉTAT A - AAR ACTIVÉ PAR LES SIGNAUX DIVERSIFIÉS « BAS DÉBIT BOUCLE » OU « TRÈS BAS DÉBIT BOUCLE » | 10 |
| 4.2.3. SÉQUENCE SFB_3 - ATWS PAR DÉFAILLANCE DU SYSTÈME DE PROTECTION DU RÉACTEUR EN ÉTAT A - AAR ACTIVÉ PAR LE SIGNAL DIVERSIFIÉ « HAUTE PRESSON GV » | 10 |
| 4.2.4. SÉQUENCE SFB_4 – ATWS PAR DÉFAILLANCE DU SYSTÈME DE PROTECTION DU RÉACTEUR EN ÉTAT A - AAR ACTIVÉ PAR LE SIGNAL DIVERSIFIÉ « BASSE PRESSON BRANCHE CHAUDE » ET DÉMARRAGE DE L'IS ET DU REFROIDISSEMENT PARTIEL SUR SIGNAL « TRÈS BASSE PRESSON BRANCHE CHAUDE » | 11 |
| 4.2.5. SÉQUENCE SFB_5 - ATWS PAR DÉFAILLANCE DU SYSTÈME DE PROTECTION DU RÉACTEUR EN ÉTAT A - AAR ACTIVÉ PAR LE SIGNAL DIVERSIFIÉ « BASSE TEMPÉRATURE BRANCHE FROIDE » | 11 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.6. SÉQUENCE SFB_6 - ATWS PAR DÉFAILLANCE DU SYSTÈME DE PROTECTION DU RÉACTEUR EN ÉTAT A - AAR ACTIVÉ PAR LE SIGNAL DIVERSIFIÉ « PUISSANCE NUCLÉAIRE ÉLEVÉE » | 12 |
| 4.2.7. SÉQUENCE SFB_7 - ATWS PAR DÉFAILLANCE DU SYSTÈME DE PROTECTION DU RÉACTEUR EN ÉTAT A - DÉMARRAGE DES TRAINS ASG ACTIVÉ PAR LE SIGNAL DIVERSIFIÉ « BAS NIVEAU GV » | 12 |
| 4.2.8. SÉQUENCE SFB_8 - ATWS PAR DÉFAILLANCE DU SYSTÈME DE PROTECTION DU RÉACTEUR EN ÉTAT A - OUVERTURE DES VDA ACTIVÉE PAR LE SIGNAL DIVERSIFIÉ « HAUTE PRESSION GV » | 12 |
| 4.3. SÉQUENCE SFC – PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES INTERNES ET EXTERNES DANS LES ÉTATS A À CA4 | 13 |
| 4.4. SÉQUENCE SFD – PERTE TOTALE DE L’ALIMENTATION EN EAU DES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR DANS LES ÉTATS A, B3 ET CB1 | 14 |
| 4.4.1. SÉQUENCE SFD_1 - PERTE TOTALE DE L'ALIMENTATION EN EAU DES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR DANS LES ÉTATS A ET B3 | 14 |
| 4.4.2. SÉQUENCE SFD_2 - PERTE TOTALE DU REFROIDISSEMENT PRIMAIRE DANS L’ÉTAT CB1 | 14 |
| 4.5. SÉQUENCE SFE – PERTE TOTALE DE LA SOURCE FROIDE OU DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES CONDUISANT À UNE BRÈCHE AUX JOINTS DES POMPES PRIMAIRES DANS LES ÉTATS A1, A2, B1 ET B2 | 15 |
| 4.5.1. SÉQUENCE SFE_1 – PERTE TOTALE DE LA SOURCE FROIDE CONDUISANT À UNE BRÈCHE AUX JOINTS DES POMPES PRIMAIRES DANS LES ÉTATS A1, A2, B1 ET B2 | 15 |
| 4.5.2. SÉQUENCE SFE_2 – PERTE TOTALE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES CONDUISANT À UNE BRÈCHE AUX JOINTS DES POMPES PRIMAIRES DANS LES ÉTATS A1 ET A2 | 15 |
| 4.6. SÉQUENCE SFF – APRP AVEC DÉFAILLANCE DE L’ISMP DANS LES ÉTATS A1 ET A2 | 16 |
| 4.7. SÉQUENCE SFG – APRP AVEC DÉFAILLANCE DE L’ISBP DANS LES ÉTATS A1, A2, CA1, CB2 ET D | 17 |

| | |
|---|-----------|
| 4.8. SÉQUENCE SFH – BAISSÉ INCONTRÔLÉE DU NIVEAU PRIMAIRE SANS SIGNAL D'IS DU SYSTÈME DE PROTECTION DANS LES ÉTATS CB ET D | 17 |
| 4.9. SÉQUENCE SFI – BRÈCHE PRIMAIRE AVEC DÉFAILLANCE DU SIGNAL PS D'INJECTION DE SÉCURITÉ DANS LES ÉTATS A1 ET A2 | 17 |
| 4.10. SÉQUENCE SFJ – PERTES DE LA CHAÎNE DE REFROIDISSEMENT OU DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES DANS LES ÉTATS CB2 ET D | 18 |
| 4.10.1. SÉQUENCE SFJ_1 – PERTE TOTALE DE LA CHAÎNE DE REFROIDISSEMENT DANS LES ÉTATS CB2 ET D | 18 |
| 4.10.2. SÉQUENCE SFJ_2 – PERTE TOTALE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES DANS LES ÉTATS CB1 À D | 18 |
| 4.10.3. SÉQUENCE SFJ_3 – PERTE PARTIELLE DE LA CHAÎNE DE REFROIDISSEMENT OU DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES AVEC DÉFAILLANCE DE L'ISBP DANS LES ÉTATS CB2 ET D | 19 |
| 4.10.4. SÉQUENCE SFJ_4 – PERTE PARTIELLE DE LA CHAÎNE DE REFROIDISSEMENT AVEC DÉFAILLANCE DE L'ISMP ET DE L'ISBP DANS LES ÉTATS CB2 ET D | 19 |
| 4.11. SÉQUENCE SFM – DILUTION HOMOGENÈME DANS LES ÉTATS A À E | 20 |
| 4.11.1. SÉQUENCE SFM_1 - DILUTION HOMOGENÈME ISOLABLE AVEC DÉFAILLANCE DU SIGNAL PAD AU TXS DANS EN ÉTAT A1 | 20 |
| 4.11.2. SÉQUENCE SFM_2 - DILUTION HOMOGENÈME ISOLABLE AVEC DÉFAILLANCE DU SIGNAL PAD AU TXS DANS LES ÉTATS A3 À E | 20 |
| 5. DISPOSITIONS RRC-A MISES EN ŒUVRE VIS-À-VIS DU RISQUE DE BIPASSE DE L'ENCEINTE SANS FUSION DU CŒUR | 20 |
| 5.1. SÉQUENCE SFL – RTGV CUMULÉE À LA DÉFAILLANCE D'ISOLEMENT DU GV AFFECTÉ PAR SA VIV DANS L'ÉTAT A1 | 21 |
| 6. DISPOSITIONS RRC-A MISES EN ŒUVRE VIS-À-VIS DU RISQUE D'ENDOMMAGEMENT DU COMBUSTIBLE DANS LA PISCINE DE DÉSACTIVATION | 21 |
| 6.1. SÉQUENCE SFN – PERTE DES DEUX TRAINS PRINCIPAUX DU SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE DE DÉSACTIVATION EN SITUATION DE MDTG EN ÉTAT F | 21 |

| | |
|--|-----------|
| 6.2. SEQUENCE SFO – PERTE DES DEUX TRAINS PRINCIPAUX DU SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE DE DÉSACTIVATION NOTAMMENT PAR PERTE DE LA STATION DE POMPAGE DANS LES ÉTATS E ET F | 22 |
| 6.3. SÉQUENCE SFP – PERTE TOTALE DU REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE DE DÉSACTIVATION EN SITUATION DE MDTG DANS LES ÉTATS A À F | 22 |
| 7. DISPOSITIFS RRC-A NON RETENUS | 22 |
| 7.1. DISPOSITIFS NON RETENUS VIS-À-VIS DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR | 23 |
| 7.1.1. ATWS PAR BLOCAGE MÉCANIQUE DES GRAPPES EN ÉTAT A – MISE EN SERVICE □ D'UNE BORICATION | 23 |
| 7.1.2. ATWS PAR BLOCAGE MÉCANIQUE DES GRAPPES EN ÉTAT A – BORICATION ET INJECTION AUX JOINTS DES GMPP AUTOMATIQUES | 23 |
| 7.1.3. ATWS PAR DÉFAILLANCE DU SYSTÈME DE PROTECTION DU RÉACTEUR EN ÉTAT A - ARRÊT AUTOMATIQUE DU RÉACTEUR ET ISOLEMENT DES VIV AFFECTÉES ACTIVÉS SUR SIGNAL DIVERSIFIÉ « BASSE PRESSION PRESSURISEUR » | 23 |
| 7.1.4. PERTE TOTALE DE L'ALIMENTATION EN EAU DES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR DANS LES ÉTATS A, B3 ET CB1 – MISE EN ŒUVRE DU GAVÉ OUVERT ET AAR ANTICIPÉ SUR SIGNAL RCSL DE CHUTE DE GRAPPES SUR PERTE ARE | 23 |
| 7.1.5. PERTE TOTALE DE L'ALIMENTATION EN EAU DES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR DANS LES ÉTATS A, B3 ET CB1 – MISE EN ŒUVRE DU GAVÉ OUVERT | 24 |
| 7.1.6. ATWS PAR PERTE PS CUMULÉ À UNE PERTE TOTALE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES ET UNE BRÈCHE AUX JOINTS DES POMPES PRIMAIRES DANS L'ÉTAT A – MISE EN SERVICE □ DU REFROIDISSEMENT SECONDAIRE | 24 |
| 7.1.7. ATWS PAR PERTE PS CUMULÉ À UNE PERTE TOTALE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES ET UNE BRÈCHE AUX JOINTS DES POMPES PRIMAIRES DANS L'ÉTAT A – MISE EN SERVICE □ DE L'EVU EN MODE ASPERSION | 24 |

| | |
|--|-----------|
| 7.1.8. ATWS PAR PERTE PS CUMULÉ À UNE PERTE TOTALE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES ET UNE BRÈCHE AUX JOINTS DES POMPES PRIMAIRES DANS L'ÉTAT A – MISE EN SERVICE □ DE L'ISBP AVEC BASCULEMENT DU REFROIDISSEMENT SUR DEL | 24 |
| 7.1.9. PERTE PARTIELLE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES AVEC DÉFAILLANCE DE L'ISBP DANS LES ÉTATS CB2 ET D – MISE EN SERVICE □ DE L'EVU | 25 |
| 7.1.10. PERTE PARTIELLE DE LA CHAÎNE DE REFROIDISSEMENT AVEC DÉFAILLANCE DE L'ISMP ET DE L'ISBP DANS LES ÉTATS CB2 ET D – MISE EN SERVICE □ DE L'EVU | 25 |
| 7.1.11. PERTE DE L'ALIMENTATION EN EAU DES GV PAR AAD DANS LES ÉTATS A3 À B3 – MISE EN SERVICE AUTOMATIQUE DES POMPES APA | 25 |
| 7.1.12. PERTE DE L'ALIMENTATION EN EAU DES GV PAR APA DANS LES ÉTATS A1 ET A2 – MISE EN SERVICE AUTOMATIQUE DE LA POMPE AAD | 25 |
| 7.1.13. APRP INTÉRIEUR ENCEINTE SANS ISMP DANS LES ÉTATS C ET D – MISE EN SERVICE DE L'ISBP | 26 |
| 7.1.14. RTGV AVEC ÉCHEC DU SIGNAL PS D'ISOLEMENT DU GÉNÉRATEUR DE VAPEUR AFFECTÉ EN ÉTAT A – ISOLEMENT □ DU GV AFFECTÉ | 26 |
| 7.1.15. APRP INTÉRIEUR ENCEINTE SANS SIGNAL PS DE DÉMARRAGE DE L'ISMP EN ÉTAT C ET D – MISE EN SERVICE □ DE L'ISMP | 26 |
| 7.1.16. DILUTION HOMOGENÈME ISOLABLE AVEC ÉCHEC MATÉRIEL DE L'ISOLEMENT DU RCV DANS LES ÉTATS A1 ET A2 – ISOLEMENT □ DE LA DILUTION EN CIA SUIVANT LES INFORMATIONS ISSUES DE LA PAD | 26 |
| 7.2. DISPOSITIFS NON RETENUS VIS-À-VIS DU RISQUE DE BIPASSE DE L'ENCEINTE DE CONFINEMENT SANS FUSION DU CŒUR . . . | 27 |
| 7.2.1. BRÈCHE PRIMAIRE AVEC DÉFAILLANCE DU SIGNAL PS D'ISOLEMENT AUTOMATIQUE DE L'ENCEINTE DANS L'ÉTAT A – | |

| | |
|--|-----------|
| ISOLEMENT AUTOMATIQUE DE L'ENCEINTE SUR SIGNAL D'IS ÉMIS AU SPPA T2000 | 27 |
| 7.2.2. BRÈCHE PRIMAIRE INFÉRIEURE À 3 POUCES AVEC DÉFAILLANCE DES SIGNAUX PS ET SPPA-T2000 D'ISOLEMENT AUTOMATIQUE DE L'ENCEINTE DANS LES ÉTATS A ET B – ACTION □ D'ISOLEMENT DE L'ENCEINTE AU PIPO PAR L'OPÉRATEUR | 27 |
| 7.2.3. BRÈCHE PRIMAIRE AVEC DÉFAILLANCE DE L'AUTOMATISME DE MISE EN SERVICE DE LA VENTILATION/FILTRATION EDE DANS LES ÉTATS A ET B – ACTION □ DE MISE EN SERVICE D'UNE FILE IODE EDE □ | 27 |
| 7.2.4. BRÈCHE PRIMAIRE AVEC DÉFAILLANCE DE L'AUTOMATISME DE MISE EN SERVICE DES VENTILATIONS EBA ET DWL DANS LES ÉTATS A ET B – ACTION □ DE MISE EN SERVICE D'UNE FILE EBA ET DWL □ | 28 |
| 7.2.5. RTGV CUMULÉE À LA DÉFAILLANCE D'ISOLEMENT DU GV AFFECTÉ PAR SA VDA DANS LES ÉTATS A1 ET A2 – ACTION □ DE MISE EN OEUVRE D'UN REFROIDISSEMENT MAXIMAL DU CIRCUIT PRIMAIRE □ | 28 |
| 7.3. DISPOSITIFS NON RETENUS VIS-À-VIS DU RISQUE D'ENDOMMAGEMENT DES ASSEMBLAGES COMBUSTIBLE DANS LE BK | 28 |
| 7.3.1. BAISSÉ ACCIDENTELLE DU NIVEAU DE LA PISCINE BK DANS LES ÉTATS A À D AVEC ÉCHEC OU INSUFFISANCE DE L'APPOINT JAC/JPI – MISE EN SERVICE □ D'UN APPOINT DE L'IRWST À LA PISCINE BK VIA LA PURIFICATION PTR | 28 |
| 7.3.2. VIDANGE DE LA PISCINE BK PAR DÉFAUT D'ISOLEMENT ENTRE COMPARTIMENTS BK OU BR DANS LES ÉTATS A À D – DÉCLENCHÉMENT DES POMPES DE PURIFICATION PTR | 29 |
| 8. CONCLUSION | 29 |

TABLEAUX :

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| TAB-18.1.2.1 | SÉQUENCES FONCTIONNELLES RRC-A RETENUES VIS-À-VIS DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR | 30 |
| TAB-18.1.2.2 | SÉQUENCES FONCTIONNELLES RRC-A RETENUES VIS-À-VIS DU RISQUE DE BIPASSE DE L'ENCEINTE SANS FUSION DU CŒUR..... | 34 |
| TAB-18.1.2.3 | SÉQUENCES FONCTIONNELLES RRC-A RETENUES VIS-À-VIS DU RISQUE D'ENDOMMAGEMENT DU COMBUSTIBLE DANS LA PISCINE DE DÉSACTIVATION | 35 |
| TAB-18.1.2.4 | SÉQUENCES FONCTIONNELLES NON RETENUES..... | 36 |

.18.1.2 IDENTIFICATION DES DISPOSITIONS ET DES SEQUENCES FONCTIONNELLES RRC-A

1. INTRODUCTION

Ce chapitre présente les dispositions RRC-A associées aux séquences fonctionnelles identifiées suivant la méthodologie présentée dans la section 19.1.0.

La démarche de sûreté, dans un processus de réduction de risque, impose la prise en compte des conditions de fonctionnement avec défaillances multiples, catégorisées RRC-A, en complément des conditions de fonctionnement de référence (PCC). A ces conditions de fonctionnement RRC-A, sont associés des dispositifs de conception, appelés dispositions RRC-A, destinés à rendre acceptables les conséquences de tels cumuls de défaillance.

Les risques couverts sont le risque de fusion du cœur situé dans le Bâtiment Réacteur (BR) et le risque de fusion du combustible dans la piscine de désactivation située dans le Bâtiment Combustible (BK).

De plus, l'un des objectifs de l'EPR étant d'obtenir une réduction significative des rejets radioactifs, l'approche de réduction de risque RRC-A est complétée par l'analyse de situations accidentelles sans fusion du cœur avec bypass du confinement et susceptibles de mener à des rejets supérieurs à ceux des conditions de fonctionnement PCC.

2. APPROCHE ADOPTÉE

L'identification des dispositions RRC-A et des séquences fonctionnelles associées est basée sur l'utilisation des résultats des Etudes Probabilistes de Sûreté (EPS) de la section 18.1.1.

La démarche est explicitée dans la section 19.1.0.

La liste complète et finale des dispositions RRC-A issues des études déterministes est présentée dans la section 19.1.2.

3. DONNÉES D'ENTRÉE DE L'ÉTUDE

L'identification des dispositions RRC-A et des séquences fonctionnelles associées a été effectuée sur la base du modèle EPS EPR de réalisation de niveau 1 BR pour le risque de fusion du cœur.

Pour le risque de fusion du combustible dans BK, le modèle EPS EPR de la piscine de désactivation du combustible de niveau 1 a été utilisé. Ce modèle sera nommé EPS EPR BK dans le reste du chapitre. Les séquences sans fusion du cœur avec bypass du confinement sont mises en évidence par le biais d'une analyse fonctionnelle spécifique faisant l'objet d'un modèle dédié EPS EPR de Niveau 1 / By-pass.

4. DISPOSITIONS RRC-A RETENUES VIS-À-VIS DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR

Les dispositions RRC-A identifiées à l'aide des études probabilistes ainsi que les séquences fonctionnelles qui leur sont associées sont présentées dans les paragraphes suivants. Les résultats sont récapitulés dans le tableau [TAB-18.1.2.1](#).

4.1. SÉQUENCE SFA - ATWS PAR BLOCAGE MÉCANIQUE DE GRAPPES EN ÉTAT A

En puissance (Etat A), dans les situations d'ATWS dues à un blocage mécanique de grappes de contrôle, sachant le succès du signal d'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR), les dispositions RRC-A associées sont :

- la borication automatique par le RBS activée par le signal ATWS,
- l'arrêt automatique des GMPP sur signal ATWS cumulé au signal « Bas Niveau GV ».

La fréquence de fusion du cœur de la séquence fonctionnelle « ATWS par blocage mécanique de grappes » obtenue sans la valorisation des parades est de :

- pour la borication automatique : \square /tr x an,
- pour l'arrêt automatique des GMPP : \square /tr x an.

Les situations retenues dans cette séquence fonctionnelle sont les ATWS par blocage mécanique de grappes de contrôle, en état A, cumulés à :

- l'augmentation excessive de vapeur,
- la fermeture intempestive d'une Vanne principale d'Isolément Vapeur (VIV),
- la perte d'une pompe primaire,
- la perte des alimentations électriques externes courte ou longue,
- la perte de la ligne principale d'alimentation électrique,
- la perte totale ou partielle de l'eau alimentaire normale des générateurs de vapeur,
- la perte totale de la charge secondaire,
- le déclenchement turbine avec le circuit de contournement de la turbine disponible.

4.2. SÉQUENCES SFB - ATWS PAR DÉFAILLANCE DU SYSTÈME DE PROTECTION DU RÉACTEUR (PS) EN ÉTAT A

La séquence fonctionnelle « ATWS par défaillance du système de protection en état A » concerne l'ensemble des situations où le défaut d'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) est induit par une défaillance du PS.

Les dispositions RRC-A associées à cette séquence fonctionnelle sont constituées de différents signaux de contrôle commande diversifiés.

Certains signaux interviennent dans des transitoires différents et sont donc associés à des sous-familles distinctes de la séquence fonctionnelle. Ces sous-familles de la séquence fonctionnelle et les signaux diversifiés associés sont détaillés dans les paragraphes suivants.

4.2.1. Séquence SFB 1 - ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A - AAR activé par le signal diversifié « Bas Niveau GV »

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle sont :

- l'AAR sur signal diversifié « Bas Niveau GV »,
- le démarrage de l'ASG sur signal diversifié « Bas Niveau GV »,
- l'ouverture des VDA sur signal diversifié « Haute Pression GV ».

La fréquence de fusion du cœur de la séquence fonctionnelle « ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A » obtenue sans la valorisation de la parade est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle associée à cette disposition RRC-A intègre les situations d'ATWS par défaillance du PS, en état A, cumulées à la perte totale ou partielle de l'eau alimentaire normale des générateurs de vapeur.

4.2.2. Séquence SFB_2 - ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A - AAR activé par les signaux diversifiés « Bas Débit Boucle » ou « Très Bas Débit Boucle »

Les dispositions RRC-A associées à cette séquence fonctionnelle sont constituées de différents signaux de contrôle commande diversifiés. Ils sont présentés dans les deux sous-séquences fonctionnelles suivantes.

4.2.2.1. Séquence SFB_2a - ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A - AAR activé par le signal diversifié « Très Bas Débit Boucle »

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle sont :

- l'AAR sur signal diversifié « Très Bas Débit Boucle dans une boucle sur quatre »,
- le démarrage de l'ASG sur signal diversifié « Bas Niveau GV »,
- l'ouverture des VDA sur signal diversifié « Haute Pression GV ».

La fréquence de fusion du cœur de la séquence fonctionnelle « ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A » obtenue sans la valorisation de la parade est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle associée à cette disposition RRC-A est constituée des situations d'ATWS par défaillance du PS, en état A, cumulé à la perte d'une pompe primaire.

4.2.2.2. Séquence SFB_2b - ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A - AAR activé par le signal diversifié « Bas Débit Boucle »

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle sont :

- l'AAR sur signal diversifié « Bas Débit Boucle dans deux boucles sur quatre »,
- l'ouverture automatique des VDA sur signal diversifié « Haute Pression GV »,
- la mise en place automatique du Dispositif d'Étanchéité à l'Arrêt (DEA) des pompes primaires,
- le démarrage \square , depuis la salle de commande, des deux diesels d'ultime secours,
- le démarrage \square , depuis la salle de commande, des trains ASG 1 et 4 alimentés par les diesels d'ultime secours.

La fréquence de fusion du cœur de la séquence fonctionnelle « ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A » obtenue sans la valorisation des parades est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle associée à cette disposition RRC-A est constituée des situations d'ATWS par défaillance des signaux d'AAR au PS, en état A, cumulé à :

- la perte des alimentations électriques externes courte ou longue,
- la perte de la ligne principale d'alimentation électrique,
- la rupture sur un commun RRI ou sur un train RRI.

4.2.3. Séquence SFB_3 - ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A - AAR activé par le signal diversifié « Haute Pression GV »

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle sont :

- l'AAR sur signal diversifié « Haute Pression GV »,
- le démarrage de l'ASG sur signal diversifié « Bas Niveau GV »,
- l'ouverture automatique des VDA sur signal diversifié « Haute Pression GV ».

La fréquence de fusion du cœur de la séquence fonctionnelle « ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A » obtenue sans la valorisation de la parade est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle associée à cette disposition RRC-A est constituée des situations d'ATWS par défaillance du PS, en état A, cumulé à :

- la fermeture intempestive d'une vanne principale d'isolement vapeur,
- le déclenchement turbine avec le circuit de contournement de la turbine disponible,
- la perte totale de la charge secondaire.

4.2.4. Séquence SFB 4 – ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A - AAR activé par le signal diversifié « Basse Pression Branche Chaude » et démarrage de l'IS et du refroidissement partiel sur signal « Très Basse Pression Branche Chaude »

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle sont :

- l'AAR sur signal diversifié « Basse Pression Branche Chaude »,
- le démarrage de l'IS et du refroidissement partiel sur signal « Très Basse Pression Branche Chaude », qui induit l'isolement phase 1 de l'enceinte de confinement,
- l'ouverture automatique des VDA sur signal diversifié « Haute Pression GV »,
- le démarrage de l'ASG sur signal diversifié « Bas Niveau GV ».

La fréquence de fusion du cœur de la séquence fonctionnelle « ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A » obtenue sans la valorisation des parades est de :

- pour l'AAR diversifié : \square /tr x an .
- pour le démarrage de l'IS et du refroidissement partiel : \square /tr x an ,

La séquence fonctionnelle est constituée de la séquence élémentaire d'ATWS par défaillance des signaux d'AAR au PS, cumulé à, en état A :

- une brèche primaire (de 2 à 20 cm²),
- une aspersion intempestive.

4.2.5. Séquence SFB 5 - ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A - AAR activé par le signal diversifié « Basse Température Branche Froide »

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle sont :

- l'AAR et la fermeture des VIV sur signal diversifié « Basse Température Branche Froide »,
- le démarrage de l'ASG sur signal diversifié « Bas Niveau GV ».

La fréquence de fusion du cœur de la séquence fonctionnelle « ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A » obtenue sans la valorisation de la parade est de \square /tr x an. Par conservatisme, cette séquence est maintenue dans le domaine RRC-A bien que son poids probabiliste soit inférieur à la cible RRC-A. En effet, cette séquence RRC-A fait suite au découpage des séquences d'« ATWS cumulé à une petite RTV en amont de la VIV ou à une augmentation excessive de vapeur en état A » entre les séquences SFB_5 et SFB_6.

La séquence fonctionnelle associée à cette disposition RRC-A est constituée des situations d'ATWS par défaillance des signaux d'AAR au PS, cumulé à :

- une petite rupture de tube vapeur en amont de la vanne principale d'isolement vapeur en état A,
- une augmentation excessive de vapeur en états A2 et A3.

La disposition RRC-A « AAR sur signal diversifié « Basse Température Branche Froide » » est présentée dans le domaine RRC-A bien qu'elle relève d'un conservatisme de l'EPS dans la prise en compte des études support.

4.2.6. Séquence SFB 6 - ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A - AAR activé par le signal diversifié « Puissance Nucléaire Elevée »

La disposition RRC-A associée à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle est l'AAR sur signal diversifié « Puissance Nucléaire Elevée »,

La fréquence de fusion du cœur de la séquence fonctionnelle « ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A » obtenue sans la valorisation des parades est de **□ /tr x an**.

La séquence fonctionnelle associée à cette disposition RRC-A est constituée des situations d'ATWS par défaillance des signaux d'AAR au PS, cumulé à une augmentation excessive de vapeur en états A1.

4.2.7. Séquence SFB 7 - ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A - Démarrage des trains ASG activé par le signal diversifié « Bas Niveau GV »

La disposition RRC-A associée à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle est le démarrage de l'Alimentation en eau de Secours des Générateurs de vapeur (ASG) sur signal diversifié « Bas Niveau GV ».

La fréquence de fusion du cœur de la séquence fonctionnelle « ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A » obtenue sans la valorisation de la parade est de **□ /tr x an**.

Cette séquence fonctionnelle est dépendante des séquences SFB_1, SFB_2a, SFB_4 et SFB_5 concernant les transitoires suivants :

- ATWS par perte du PS cumulé à la perte totale ou partielle de l'eau alimentaire normale des générateurs de vapeur,
- ATWS par perte du PS cumulé à la perte d'une pompe primaire,
- ATWS par perte du PS cumulé à la perte des alimentations électriques externes 2h ou 24h,
- ATWS par perte du PS cumulé à la perte de la ligne principale d'alimentation électrique,
- ATWS par perte du PS cumulé à la rupture sur un commun RRI ou sur un train RRI,
- ATWS par perte du PS cumulé à la fermeture intempestive d'une VIV,
- ATWS par perte du PS cumulé à un déclenchement turbine avec le circuit de contournement de la turbine disponible,
- ATWS par perte du PS cumulé à une brèche primaire (de 2 à 20 cm²),
- ATWS par perte du PS cumulé à une perte totale de la charge secondaire,
- ATWS par perte du PS cumulé à une aspersion intempestive,
- ATWS par perte du PS cumulé à une augmentation excessive de vapeur,
- ATWS par perte du PS cumulé à une petite rupture de tube vapeur en amont de la vanne principale d'isolement vapeur.

4.2.8. Séquence SFB 8 - ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A - Ouverture des VDA activée par le signal diversifié « Haute Pression GV »

La disposition RRC-A associée à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle est l'ouverture des Vannes de Décharge à l'Atmosphère (VDA) sur signal diversifié « Haute Pression GV ».

La fréquence de fusion du cœur de la séquence fonctionnelle « ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A » obtenue sans la valorisation de la parade est de **□ /tr x an**.

Cette séquence fonctionnelle est dépendante des séquences SFB_1, SFB_2a, SFB_2b, SFB_3 et SFB_4 concernant les transitoires suivants :

- ATWS par perte du PS cumulé à la perte totale ou partielle de l'eau alimentaire normale des générateurs de vapeur,
- ATWS par perte du PS cumulé à la perte d'une pompe primaire,
- ATWS par perte du PS cumulé à la perte des alimentations électriques externes 2h ou 24h,
- ATWS par perte du PS cumulé à la perte de la ligne principale d'alimentation électrique,
- ATWS par perte du PS cumulé à la rupture sur un commun RRI ou sur un train RRI,
- ATWS par perte du PS cumulé à la fermeture intempestive d'une VIV,
- ATWS par perte du PS cumulé à un déclenchement turbine avec le circuit de contournement de la turbine disponible,
- ATWS par perte du PS cumulé à une brèche primaire (de 2 à 20 cm²),
- ATWS par perte du PS cumulé à une perte totale de la charge secondaire,
- ATWS par perte du PS cumulé à une aspersion intempestive,
- ATWS par perte du PS cumulé à une augmentation excessive de vapeur,
- ATWS par perte du PS cumulé à une petite rupture de tube vapeur en amont de la vanne principale d'isolement vapeur.

4.3. SÉQUENCE SFC – PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES INTERNES ET EXTERNES DANS LES ÉTATS A À CA4

Cette séquence fonctionnelle traite des situations de perte des alimentations électriques externes cumulée à la défaillance des quatre diesels principaux, dans les états A à CA4.

Ces situations désignées par Manque De Tension électrique Généralisé (MDTG) entraînent notamment l'indisponibilité :

- des pompes primaires, y compris l'injection aux joints des pompes primaires et le refroidissement des barrières thermiques,
- de l'alimentation normale et de secours des générateurs de vapeur (ARE et ASG),
- du système de contrôle volumétrique et chimique (RCV),
- du système d'injection de sécurité (RIS),
- des systèmes de réfrigération intermédiaire et d'eau brute secourue (RRI/SEC),
- des systèmes de ventilation,
- des chargeurs de batteries.

Les dispositions RRC-A associées à cette séquence fonctionnelle sont :

- la mise en service des diesels d'ultime secours des divisions électriques 1 et 4.
Ces diesels alimentent principalement les pompes des trains ASG 1 ou 4, puis les pompes d'injection ISBP trains 1 et/ou 4, certaines parties des systèmes de ventilation, les systèmes importants de contrôle-commande et l'éclairage de la salle de commande principale. Par ailleurs, le démarrage des diesels d'ultime secours nécessite que certaines sorties du PS aient été précédemment inhibées.
- la mise en service des trains ASG 1 et 4, alimentés par les diesels d'ultime secours.
- la mise en place automatique du DEA.
- la réalisation d'un refroidissement contrôlé du primaire par le secondaire via les VDA.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Perte des alimentations électriques internes et externes dans les états A à CA4 » sans valorisation des parades est de / **tr x an**.

Les séquences élémentaires de la séquence fonctionnelle sont, dans les états A à CA4 :

- la perte des alimentations électriques externes courte avec défaillance des quatre diesels principaux,
- la perte des alimentations électriques externes longue avec défaillance des quatre diesels principaux,
- la perte de la ligne principale d'alimentation électrique, suivie de la perte du transformateur auxiliaire et des quatre diesels principaux,
- la perte d'un train RRI/SEC avec défaillance des 4 diesels principaux.

4.4. SÉQUENCE SFD – PERTE TOTALE DE L'ALIMENTATION EN EAU DES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR DANS LES ÉTATS A, B3 ET CB1

La séquence fonctionnelle est constituée de situations en puissance où les alimentations en eau, normale et de secours, des générateurs de vapeur sont totalement perdues.

Elle couvre également les situations en état d'arrêt avec défaillance de l'évacuation de la puissance résiduelle par le secondaire.

Dans ces situations, le secondaire étant alors indisponible, la disposition RRC-A de gavé ouvert est initiée par l'opérateur pour assurer le refroidissement du cœur.

Cette séquence fonctionnelle est divisée en deux sous-séquences, selon les états du réacteur considérés.

4.4.1. Séquence SFD_1 - Perte totale de l'alimentation en eau des générateurs de vapeur dans les états A et B3

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-séquence fonctionnelle sont :

- le gavé-ouvert,
- la chute des grappes anticipée sur signal RCSL consécutif à la perte de l'eau alimentaire, suivi du déclenchement de la turbine.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Perte totale de l'alimentation en eau des générateurs de vapeur dans les états A et B3 » sans valorisation des parades est de \square /tr x an.

Les séquences élémentaires de la séquence fonctionnelle sont :

- la perte de l'alimentation normale en eau des générateurs de vapeur (ARE) et du secours par la motopompe alimentaire d'arrêt et de démarrage (AAD), suivie de la défaillance de l'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG), dans les états A et B3,
- la perte des alimentations électriques externes courte, suivie de la perte du secondaire, dans les états A et B3,
- la perte des alimentations électriques externes longue, suivie de la perte du secondaire, dans l'état A,
- la perte de la ligne principale d'alimentation électrique, suivie de la perte du secondaire, dans les états A1 et A2.

4.4.2. Séquence SFD_2 - Perte totale du refroidissement primaire dans l'état CB1

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-séquence fonctionnelle sont :

- le gavé-ouvert,
- la mise en service de l'EVU en aspersion.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Perte totale du refroidissement primaire en état CB1 » sans valorisation des parades est de \square /tr x an.

Les séquences élémentaires de la séquence fonctionnelle sont, en état CB1 :

- la perte des alimentations électriques externes longue, avec perte du refroidissement primaire,
- la perte intrinsèque des trains de refroidissement du primaire à l'arrêt (ISBP/RRA) initialement en fonctionnement, avec perte du refroidissement primaire par le secondaire,
- la perte d'un train, de deux trains, de trois et quatre trains de refroidissement RRI/SEC cumulée à la perte du secondaire.

4.5. SÉQUENCE SFE – PERTE TOTALE DE LA SOURCE FROIDE OU DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES CONDUISANT À UNE BRÈCHE AUX JOINTS DES POMPES PRIMAIRES DANS LES ÉTATS A1, A2, B1 ET B2

La séquence fonctionnelle traite des transitoires où la défaillance du DEA, cumulée à la perte totale de la source froide ou des alimentations électriques, conduit à une brèche aux joints des pompes primaires dans les états A1, A2, B1 et B2.

Les actions de conduite pouvant y être différentes, la séquence fonctionnelle a été subdivisée en deux sous-familles :

- 1) Perte totale de la source froide conduisant à une brèche aux joints des pompes primaires dans les états A1, A2, B1 et B2,
- 2) Perte totale des alimentations électriques internes et externes conduisant à une brèche aux joints des pompes primaires dans les états A1 et A2.

4.5.1. Séquence SFE 1 – Perte totale de la source froide conduisant à une brèche aux joints des pompes primaires dans les états A1, A2, B1 et B2

Les transitoires de perte totale de la source froide induisent de fait l'indisponibilité du système d'injection de sécurité ISMP, les pompes ne pouvant être refroidies.

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-famille sont :

- la mise en oeuvre \square , d'un refroidissement par le secondaire,
- le basculement automatique du refroidissement des moteurs des pompes ISBP 1 et 4 sur leur circuit de refroidissement diversifié DEL,
- la mise en service de l'EVU en aspersion.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Perte totale de la source froide conduisant à une brèche aux joints des pompes primaires dans les états A1, A2, B1 et B2 » sans valorisation des parades est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle est constituée des séquences élémentaires suivantes :

- la perte des quatre trains RRI/SEC cumulée à la défaillance du DEA dans les états B1 et B2,
- la perte de la station de pompage cumulée à la défaillance du DEA dans les états A1 et A2,
- la défaillance de l'injection aux joints cumulée à la perte totale de la chaîne de refroidissement des paliers et butées des GMPP, suivi de la défaillance du DEA, dans les états A1 et A2.

4.5.2. Séquence SFE 2 – Perte totale des alimentations électriques conduisant à une brèche aux joints des pompes primaires dans les états A1 et A2

Les situations, dans les états A1 et A2, de perte des alimentations électriques internes et externes avec défaillance du Dispositif d'Étanchéité à l'Arrêt (DEA) conduisent à une brèche aux joints des

pompes primaires. La défaillance des diesels principaux ajoute notamment l'indisponibilité des moyens d'appoint par ISMP et ISBP et de l'ASG.

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-famille sont :

- le démarrage , des diesels d'ultime secours, après inhibition sélective des sorties du système de protection,
- le démarrage , des trains ASG 1 et 4,
- la mise en oeuvre , d'un refroidissement par le secondaire pour rejoindre les conditions d'injection de l'ISBP,
- le démarrage , des trains ISBP avec basculement automatique du refroidissement des moteurs des pompes ISBP 1 et 4 sur leur circuit de refroidissement diversifié DEL,
- la mise en service de l'EVU en aspersion,

Dans cette sous-famille, la mise en service des trains ISBP .

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle de « Perte totale des alimentations électriques conduisant à une brèche aux joints des pompes primaires dans les états A1 et A2 », sans valorisation des parades est de /tr x an.

La séquence fonctionnelle est constituée des séquences élémentaires suivantes, dans les états A1 et A2 :

- la perte de la ligne principale d'alimentation électrique suivie de la perte du transformateur auxiliaire, des quatre diesels principaux et du DEA,
- la perte des alimentations électriques externes longue combinée à la défaillance des quatre diesels principaux et du DEA.

4.6. SÉQUENCE SFF – APRP AVEC DÉFAILLANCE DE L'ISMP DANS LES ÉTATS A1 ET A2

Les situations de brèche primaire jusqu'à 45 cm² en puissance, avec émission du signal d'injection de sécurité mais défaillance des moyens de pompage de l'ISMP (Injection de Sécurité Moyenne Pression), sont regroupées au sein de cette séquence fonctionnelle.

La disposition RRC-A associée à cette séquence fonctionnelle est l'initiation par l'opérateur d'une dépressurisation du circuit primaire par un refroidissement secondaire. Elle est réalisée par l'ASG et l'ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère (VDA).

Cette disposition permet de rejoindre, au primaire, les conditions d'injection de sécurité par l'ISBP (Injection de Sécurité Basse Pression).

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle de « APRP avec défaillance de l'ISMP les états A1 et A2 », sans valorisation de la parade est de /tr x an.

La séquence fonctionnelle est constituée des séquences élémentaires suivantes, dans les états A1 et A2 :

- l'APRP (de 2 à 20 cm²), en branche chaude, avec défaillance de l'ISMP,
- l'APRP (de 20 à 45 cm²), en branche froide, avec défaillance de l'ISMP,
- la perte de deux trains de refroidissement RRI/SEC conduisant à une brèche aux joints des pompes primaires, suivie de la défaillance de l'ISMP,
- la perte des alimentations électriques externes courte, suivie de la défaillance du DEA et de l'ISMP.

4.7. SÉQUENCE SFG – APRP AVEC DÉFAILLANCE DE L'ISBP DANS LES ÉTATS A1, A2, CA1, CB2 ET D

La disposition RRC-A associée à cette séquence fonctionnelle est la mise en service de l'EVU en aspersion.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « APRP avec défaillance ISBP dans les états A1, A2, CA1, CB2 et D », sans valorisation de la parade est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle regroupe les séquences élémentaires incluant la défaillance des quatre trains IBSP cumulée à :

- l'APRP (de 2 à 20 cm²), dans les états A1 et A2,
- la brèche primaire sur RIS/RRA extérieur enceinte (de 1 à 20 cm²) isolable, dans les états CB2 et D,
- la baisse incontrôlée du niveau primaire dans les états CB2 et D,
- la perte de deux trains RRI conduisant à une brèche aux joints des pompes primaires, dans les états A1 et A2,
- la perte de trois trains RRI/SEC conduisant à une brèche aux joints des pompes primaires dans l'état CA1.

4.8. SÉQUENCE SFH – BAISSÉ INCONTRÔLÉE DU NIVEAU PRIMAIRE SANS SIGNAL D'IS DU SYSTÈME DE PROTECTION DANS LES ÉTATS CB ET D

Dans les états CB et D, en situation de vidange du primaire suite à une brèche ou en cas de baisse incontrôlée du niveau primaire, la mise en service de l'injection de sécurité par l'ISMP, enclenchée sur signal « Bas Niveau Boucle », permet le maintien de l'inventaire en eau du circuit primaire.

Ce signal est émis par le système de protection (PS). En cas de défaillance de celui-ci, le démarrage du RIS est commandé par un signal diversifié.

La disposition RRC-A associée à cette séquence fonctionnelle est le démarrage de l'ISMP sur signal diversifié « Bas Niveau Boucle ». Ce signal induit également l'isolement du circuit primaire et l'isolement de la décharge RCV.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Baisse incontrôlée du niveau primaire sans signal d'IS du système de protection dans les états CB et D », sans valorisation de la parade est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle est constituée des séquences élémentaires suivantes :

- la baisse incontrôlée avec défaillance du signal d'IS du système de protection, dans les états CB et D,
- la perte intrinsèque des trains RIS/RRA avec défaillance du signal d'IS du système de protection, dans les états CB2 et D.

4.9. SÉQUENCE SFI – BRÈCHE PRIMAIRE AVEC DÉFAILLANCE DU SIGNAL PS D'INJECTION DE SÉCURITÉ DANS LES ÉTATS A1 ET A2

Cette séquence fonctionnelle couvre les situations de brèche primaire où, suite à un AAR réussi, la défaillance du PS empêche l'émission du signal d'injection de sécurité.

La disposition RRC-A associée à cette séquence fonctionnelle est le démarrage de l'IS et du refroidissement partiel sur signal diversifié « Très Basse Pression Branche Chaude ».

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Brèche primaire avec défaillance du signal PS d'injection de sécurité dans les états A1 et A2 » sans valorisation de la parade est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle est constituée du transitoire de brèche primaire intérieur enceinte (de 2 à 20 cm²) dans les états A1 et A2.

4.10. SÉQUENCE SFJ – PERTES DE LA CHAÎNE DE REFROIDISSEMENT OU DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES DANS LES ÉTATS CB2 ET D

Les situations de perte de la chaîne de refroidissement ou de perte des alimentations électriques dans les états CB et D induisent des indisponibilités diverses au niveau des moyens de refroidissement et d'appoint en eau du cœur et des actions de conduite différentes, selon que ces pertes sont totales ou partielles. Ces situations ont été regroupées en quatre sous-familles :

- Perte totale de la chaîne de refroidissement dans les états CB2 et D,
- Perte totale des alimentations électriques dans les états CB1 à D,
- Perte partielle de la chaîne de refroidissement ou des alimentations électriques avec défaillance de l'ISBP en refroidissement de l'IRWST (ISMP opérant) dans les états CB2 et D,
- Perte partielle de la chaîne de refroidissement avec perte de l'ISMP et de l'ISBP dans les états CB2 et D.

Les dispositions RRC-A relatives à ces quatre sous-familles sont détaillées ci-après.

4.10.1. Séquence SFJ 1 – Perte totale de la chaîne de refroidissement dans les états CB2 et D

Dans les états CB2 et D, les situations de perte totale de la chaîne de refroidissement induisent l'indisponibilité des moyens de refroidissement du cœur ou de maintien de l'inventaire primaire suivants : les échangeurs RIS/RRA, les pompes ISMP et les pompes ISBP des trains 2 et 3.

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle sont :

- la mise en service \square , des trains ISBP disponibles en mode réduit pour appoint au circuit primaire,
- le basculement automatique du refroidissement du moteur des pompes ISBP (trains 1 et 4) sur le circuit de refroidissement diversifié DEL,
- la mise en service de l'EVU en aspersion.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Perte totale de la chaîne de refroidissement dans les états CB2 et D », sans valorisation de la parade est de \square /tr x an.

Les séquences élémentaires qui interviennent dans la séquence fonctionnelle sont les suivantes, dans les états CB2 et D :

- la perte des quatre trains RRI/SEC,
- la perte de la station de pompage,
- la perte d'un train RRI/SEC suivie de la défaillance des trains ISBP/RRA et de l'injection de sécurité par l'ISMP.

4.10.2. Séquence SFJ 2 – Perte totale des alimentations électriques dans les états CB1 à D

Dans les états CB1 à D, en cas de Manque de Tension Généralisé (MDTG), c'est-à-dire perte des alimentations électriques externes avec indisponibilité des diesels principaux, les moyens de refroidissement du cœur ou de maintien de l'inventaire primaire par le RIS sont perdus.

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle sont :

- le démarrage automatique des deux diesels d'ultime secours,
- le démarrage automatique sur signal « Bas Niveau boucle » du train ISBP (train 1 ou 4) en attente en mode réduit,
- le basculement automatique du refroidissement des moteurs des pompes ISBP trains 1 et 4 sur leur circuit de refroidissement diversifié DEL,
- la mise en service de l'EVU en aspersion.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Perte totale des alimentations électriques dans les états CB1 à D », sans valorisation des parades est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle est constituée des séquences élémentaires suivantes, dans les états CB1 à D :

- la perte de la ligne principale d'alimentation électrique, suivie de la perte du transformateur auxiliaire et des quatre diesels principaux,
- la perte des alimentations électriques externes courte ou longue avec défaillance des quatre diesels principaux.

4.10.3. Séquence SFJ 3 – Perte partielle de la chaîne de refroidissement ou des alimentations électriques avec défaillance de l'ISBP dans les états CB2 et D

Cette séquence fonctionnelle traite, dans les états CB2 et D, des situations de perte partielle de la source froide ou de perte des alimentations électriques avec les diesels de secours disponibles, pour lesquelles l'ISMP assure l'appoint en eau au circuit primaire (se vidant progressivement par évaporation) suite à la défaillance du refroidissement du primaire par l'ISBP/RRA.

La disposition RRC-A associée à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle est la mise en service de l'EVU en aspersion.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Perte partielle de la chaîne de refroidissement ou des alimentations électriques avec défaillance de l'ISBP dans les états CB2 et D », sans valorisation de la parade est de :

- pour les transitoires de type perte de source froide : \square /tr x an ,
- pour les transitoires de type perte de sources électriques : \square /tr x an,

La séquence fonctionnelle est constituée des séquences élémentaires suivantes :

- la perte partielle de la source froide par un train RRI/SEC suivie de la défaillance de l'ISBP en mode RRA et en refroidissement de l'IRWST dans les états CB2 et D,
- la perte partielle de la chaîne de refroidissement par trois trains RRI/SEC suivie de la défaillance de l'ISBP en refroidissement de l'IRWST dans l'état CB2,
- la perte intrinsèque des trains de refroidissement ISBP/RRA avec défaillance de l'ISBP en refroidissement de l'IRWST dans les états CB2 et D.

4.10.4. Séquence SFJ 4 – Perte partielle de la chaîne de refroidissement avec défaillance de l'ISMP et de l'ISBP dans les états CB2 et D

Dans cette séquence fonctionnelle, sont intégrées les situations de perte partielle de la source froide, dans les états CB2 et D, suivie des défaillances du refroidissement du primaire par l'ISBP/RRA, de l'ISMP et des trains ISBP disponibles lignés pour le refroidissement de l'IRWST.

La disposition RRC-A associée à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle est la mise en service automatique des trains ISBP disponibles en mode injection pour assurer l'appoint en eau au circuit primaire.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Perte partielle de la chaîne de refroidissement avec défaillance de l'ISMP et de l'ISBP dans les états CB2 et D », sans valorisation de la parade est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle est constituée des séquences élémentaires suivantes :

- la perte partielle de la source froide par trois trains RRI/SEC suivie de la défaillance de l'ISMP dans les états CB2 et D,
- la perte intrinsèque des trains RIS/RA en service dans les états CB2 et D.

4.11. SÉQUENCE SFM – DILUTION HOMOGENÈME DANS LES ÉTATS A À E

Cette séquence fonctionnelle est subdivisée en sous-familles, selon les états du réacteur considérés.

4.11.1. Séquence SFM 1 - Dilution homogène isolable avec défaillance du signal PAD au TXS dans en état A1

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle sont :

- l'isolement automatique du REA sur signal « Block Dilution »,
- l'isolement \square de la dilution sur alarme « Ecart CB REN important ».

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Dilution homogène isolable avec défaillance du signal PAD au TXS en état A1 », sans valorisation des parades est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle est constituée des situations de défaillance du signal PAD au TXS, en état A1, cumulée à :

- une dilution homogène isolable venant du REA eau d'un débit supérieur à 72 t/h,
- une dilution homogène isolable de débit inférieur à 72 t/h.

4.11.2. Séquence SFM 2 - Dilution homogène isolable avec défaillance du signal PAD au TXS dans les états A3 à E

Les dispositions RRC-A associées à cette sous-famille de la séquence fonctionnelle sont :

- l'isolement automatique du REA sur signal « Block Dilution »,
- l'isolement automatique de la dilution sur signal « CB REN mesurée faible ».

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Dilution homogène isolable avec défaillance du signal PAD au TXS dans les états A3 à E », sans valorisation des parades est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle est constituée des situations de défaillance du signal PAD au TXS, dans les états A3 à E, cumulée à :

- une dilution homogène isolable venant du REA eau d'un débit supérieur à 72 t/h,
- une dilution homogène isolable de débit inférieur à 72 t/h.

5. DISPOSITIONS RRC-A MISES EN ŒUVRE VIS-À-VIS DU RISQUE DE BIPASSE DE L'ENCEINTE SANS FUSION DU CŒUR

La disposition RRC-A identifiée à l'aide des études probabilistes ainsi que la séquence fonctionnelle qui lui est associée est présentée dans le paragraphe suivant. Les résultats sont récapitulés dans le tableau [TAB-18.1.2.2](#).

5.1. SÉQUENCE SFL – RTGV CUMULÉE À LA DÉFAILLANCE D'ISOLEMENT DU GV AFFECTÉ PAR SA VIV DANS L'ÉTAT A1

Cette séquence fonctionnelle couvre les situations de RTGV cumulée à la défaillance à la fermeture de la Vanne d'Isolément Vapeur (VIV) du GV affecté, menant ainsi au bipasse de l'enceinte.

Dans ces situations, la récupération en local du défaut de fermeture de la VIV du GV affecté permet d'annuler la fuite et d'éviter le débordement du GV affecté par la RTGV et le non respect des limites radiologiques PCC-4.

La disposition RRC-A associée à cette séquence fonctionnelle est l'action d'isolement du GV affecté par la RTGV par l'opérateur.

La fréquence de bipasse de l'enceinte sans fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « RTGV cumulée à la défaillance d'isolement du GV affecté par sa VIV dans l'état A1 » sans valorisation de la parade est de /tr x an.

La séquence fonctionnelle est constituée, en état A1, des séquences élémentaires suivantes :

- la petite RTGV cumulée au refus de fermeture de la VIV du GV affecté,
- la RTGV un tube cumulée au refus de fermeture de la VIV du GV affecté.

6. DISPOSITIONS RRC-A MISES EN ŒUVRE VIS-À-VIS DU RISQUE D'ENDOMMAGEMENT DU COMBUSTIBLE DANS LA PISCINE DE DÉSACTIVATION

Les dispositions RRC-A identifiées à l'aide des études probabilistes ainsi que les séquences fonctionnelles qui leur sont associées sont présentées dans le paragraphe suivant. Les résultats sont récapitulés dans le tableau [TAB-18.1.2.3](#).

6.1. SÉQUENCE SFN – PERTE DES DEUX TRAINS PRINCIPAUX DU SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE DE DÉSACTIVATION EN SITUATION DE MDTG EN ÉTAT F

La réfrigération de la piscine de désactivation est assurée, en situation PCC 1 à 4, par les deux trains principaux du système PTR.

En état F, les dispositions RRC-A associées aux transitoires de perte des deux trains PTR principaux sont :

- la mise en service par l'opérateur de la 3ème file PTR (+EVUi +SRU),
- la mise en service des diesels d'ultime secours pour l'alimentation électrique de la 3ème file PTR, de l'EVUi et du SRU.

La fréquence de découverture des assemblages combustible associée à la séquence fonctionnelle « Perte des deux trains principaux du système de refroidissement de la piscine de désactivation en situation de MDTG en état F » sans valorisation des parades est de /tr x an.

La séquence fonctionnelle est constituée, en état F, de la séquence élémentaire de perte des deux trains principaux du système PTR suite à un Manque De Tension Généralisé.

Dans les états A à E, en situation de MDTG, la 3ème file PTR n'est pas valorisée et le transitoire est couvert par la séquence SFP « Perte totale du refroidissement de la piscine de désactivation en situation de MDTG dans les états A à F ».

6.2. SEQUENCE SFO – PERTE DES DEUX TRAINS PRINCIPAUX DU SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE DE DÉSACTIVATION NOTAMMENT PAR PERTE DE LA STATION DE POMPAGE DANS LES ÉTATS E ET F

La réfrigération de la piscine de désactivation est assurée, en situation PCC 1 à 4, par les deux trains principaux du système PTR.

Dans les états E et F, la disposition RRC-A associée aux transitoires de perte des deux trains principaux est la mise en service par l'opérateur de la 3ème file PTR (+EVUi +SRU).

La fréquence de découverture des assemblages combustible associée à la séquence fonctionnelle « Perte des deux trains principaux du système de refroidissement de la piscine de désactivation notamment par perte de la station de pompage dans les états E et F » sans valorisation des parades est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle est constituée des séquences élémentaires suivantes :

- la perte des deux trains principaux PTR par perte des deux communs RRI en états E et F,
- la perte des deux trains principaux PTR par perte intrinsèque PTR en états E et F,
- la perte des deux trains principaux PTR par perte de la station de pompage en états E et F,
- la perte des deux trains principaux PTR suite à la perte d'un commun RRI en état F.

6.3. SÉQUENCE SFP – PERTE TOTALE DU REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE DE DÉSACTIVATION EN SITUATION DE MDTG DANS LES ÉTATS A À F

La réfrigération de la piscine de désactivation est assurée par les deux trains principaux PTR en situation PCC 1 à 4 et peut être reprise par la 3ème file PTR en phase de maintenance d'un train principal ou en situation RRC-A de perte des deux trains principaux.

En cas de Manque De Tension Généralisé, les deux trains principaux sont perdus.

Dans les états A à E, la 3ème file PTR n'est pas valorisée, la gestion BR étant prioritaire. En conséquence, le refroidissement de la piscine de désactivation est perdu dans sa totalité.

En état F, la 3ème file PTR étant secourue par SBO, elle n'est pas perdue par MDTG. La séquence fonctionnelle considérée résulte du cumul d'un MDTG et de la perte intrinsèque de la 3ème file PTR.

Dans les états A à F, la disposition RRC-A associée à cette séquence fonctionnelle est la mise en service \square des diesels d'ultime secours pour l'alimentation électrique du JAC/JPI.

La fréquence de découverture des assemblages combustible associée à la séquence fonctionnelle « Perte totale du refroidissement de la piscine de désactivation en situation de MDTG dans les états A à F » sans valorisation de la parade est de \square /tr x an.

La séquence fonctionnelle est constituée, dans les états A à F, des transitoires de perte totale du refroidissement de la piscine de désactivation suite à une situation de MDTG, cumulée, en état F, à la perte intrinsèque de la 3ème file PTR.

7. DISPOSITIFS RRC-A NON RETENUS

Les parades non retenues en application de la démarche RRC-A sont présentées ci-dessous, avec les séquences fonctionnelles associées.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau [TAB-18.1.2.4](#).

7.1. DISPOSITIFS NON RETENUS VIS-À-VIS DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR

7.1.1. ATWS par blocage mécanique des grappes en état A – Mise en service □ d'une borication

Cette séquence fonctionnelle est constituée, en état A, des situations d'ATWS dus à un blocage mécanique des grappes de contrôle, sachant le succès du signal d'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) cumulé à la défaillance de la disposition RRC-A de borication automatique sur émission du signal ATWS.

La mise en service d'une borication □ est une parade susceptible de ramener le risque à un niveau acceptable pour cette séquence fonctionnelle.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « ATWS par blocage mécanique des grappes en état A » est de □ /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.2. ATWS par blocage mécanique des grappes en état A – Borication et injection aux joints des GMPP automatiques

Cette séquence fonctionnelle est constituée, en état A, des situations d'ATWS dus à un blocage mécanique des grappes de contrôle, sachant le succès du signal d'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) cumulé à la défaillance de la disposition RRC-A de borication automatique sur émission du signal PS.

La mise en service d'une borication automatique sur signal du SPPA T2000 et de l'injection aux joints des GMPP par la seconde pompe RCV est une parade susceptible de ramener le risque à un niveau acceptable pour cette séquence fonctionnelle.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « ATWS par blocage mécanique des grappes en état A » est de □ /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.3. ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A - Arrêt Automatique du Réacteur et isolement des VIV affectées activés sur signal diversifié « Basse Pression Pressuriseur »

La séquence fonctionnelle associée à cette disposition RRC-A intègre les situations de défaillance du PS, en état A, cumulée à une grosse rupture de tuyauterie vapeur en aval de la vanne principale d'isolement vapeur.

La parade étudiée pour cette sous-famille de la séquence fonctionnelle est un AAR et un isolement des VIV affectées sur signal diversifié « Basse Pression Pressuriseur ».

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A » est de □ /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.4. Perte totale de l'alimentation en eau des générateurs de vapeur dans les états A, B3 et CB1 – Mise en œuvre du gavé ouvert et AAR anticipé sur signal RCSL de chute de grappes sur perte ARE

Dans la séquence fonctionnelle de « Perte Totale de l'alimentation en eau des générateurs de vapeur dans les états A à CB », deux familles de transitoires sont écartées car le risque de fusion du cœur qui leur est associé sans mise en œuvre des parades de gavé ouvert et d'AAR anticipé sur signal RCSL de chute de grappes sur perte ARE reste à un niveau acceptable.

Il s'agit de la famille « APRP avec perte du secondaire en états A à CB1 » et de la famille « Grosse RTV en aval de la VIV en états A et B ».

Les fréquences de fusion du cœur évaluées sans les parades de gavé ouvert et d'AAR anticipé sur signal RCSL de chute de grappes sur perte ARE, sont les suivantes :

- La quantification sans parade de la séquence fonctionnelle « APRP avec perte du secondaire en états A à CB1 » aboutit à une fréquence de fusion du cœur de \square /tr x an.
- La quantification sans parade de la séquence fonctionnelle « Grosse RTV en aval de la VIV en états A et B » aboutit à une fréquence de fusion du cœur de \square /tr x an.

Par conséquent, ces parades ne sont pas retenues.

7.1.5. Perte totale de l'alimentation en eau des générateurs de vapeur dans les états A, B3 et CB1 – Mise en œuvre du gavé ouvert

Dans la séquence fonctionnelle de « Perte Totale de l'alimentation en eau des générateurs de vapeur dans les états A à CB », une famille de transitoires est écartée car le risque de fusion du cœur qui lui est associé sans mise en œuvre de la parade de gavé ouvert reste à un niveau acceptable.

Il s'agit de la famille « Perte totale du refroidissement primaire par perte électrique en état C ».

La fréquence de fusion du cœur associée à la famille « Perte totale du refroidissement primaire par perte électrique en état C » est de \square /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.6. ATWS par perte PS cumulé à une perte totale des alimentations électriques externes et une brèche aux joints des pompes primaires dans l'état A – Mise en service \square du refroidissement secondaire

Cette séquence fonctionnelle inclut le cas particulier, dans l'état A, du cumul d'un ATWS par perte du PS et de la perte des alimentations électriques internes et externes avec défaillance des quatre diesels de secours, pour lequel la défaillance du DEA conduit à une brèche aux joints des GMPP.

Une des parades étudiées pour cette séquence fonctionnelle est la mise en service \square du refroidissement secondaire.

La fréquence de fusion du cœur associée à la famille « ATWS par perte PS cumulé à une perte totale des alimentations électriques externes et une brèche aux joints des pompes primaires dans l'état A » est de \square /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.7. ATWS par perte PS cumulé à une perte totale des alimentations électriques externes et une brèche aux joints des pompes primaires dans l'état A – Mise en service \square de l'EVU en mode aspersion

Cette séquence fonctionnelle inclut le cas particulier, dans l'état A, du cumul d'un ATWS par perte du PS et de la perte des alimentations électriques internes et externes avec défaillance des quatre diesels de secours, pour lequel la défaillance du DEA conduit à une brèche aux joints des GMPP.

Une des parades étudiées pour cette séquence fonctionnelle est la mise en service \square de l'EVU en aspersion pour refroidissement de l'IRWST.

La fréquence de fusion du cœur associée à la famille « ATWS par perte PS cumulé à une perte totale des alimentations électriques externes et une brèche aux joints des pompes primaires dans l'état A » est de \square /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.8. ATWS par perte PS cumulé à une perte totale des alimentations électriques externes et une brèche aux joints des pompes primaires dans l'état A – Mise en service \square de l'ISBP avec basculement du refroidissement sur DEL

Cette séquence fonctionnelle inclut le cas particulier, dans l'état A, du cumul d'un ATWS par perte du PS et de la perte des alimentations électriques internes et externes avec défaillance des quatre diesels de secours, pour lequel la défaillance du DEA conduit à une brèche aux joints des GMPP.

Une des parades étudiées pour cette séquence fonctionnelle est la mise en service l'ISBP avec basculement du refroidissement des pompes ISBP sur DEL.

La fréquence de fusion du cœur associée à la famille « ATWS par perte PS cumulé à une perte totale des alimentations électriques externes et une brèche aux joints des pompes primaires dans l'état A » est de /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.9. Perte partielle des alimentations électriques avec défaillance de l'ISBP dans les états CB2 et D – Mise en service de l'EVU

Cette séquence fonctionnelle traite, dans les états CB2 et D, des situations de perte des alimentations électriques avec les diesels de secours disponibles, pour lesquelles l'ISMP assure l'appoint en eau au circuit primaire (se vidant progressivement par évaporation) suite à la défaillance du refroidissement du primaire par l'ISBP/RRA.

En cas de défaillance des trains ISBP chargés du refroidissement de l'IRWST, le circuit EVU est mis en service pour refroidir l'IRSWT.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Perte partielle des alimentations électriques avec défaillance de l'ISBP dans les états CB2 et D » est de /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.10. Perte partielle de la chaîne de refroidissement avec défaillance de l'ISMP et de l'ISBP dans les états CB2 et D – Mise en service de l'EVU

La séquence fonctionnelle « Perte partielle de la chaîne de refroidissement avec défaillance de l'ISMP et de l'ISBP dans les états CB2 et D », est constituée des situations de perte partielle de la source froide, dans les états CB2 et D, suivies des défaillances du refroidissement du primaire par l'ISBP/RRA, de l'ISMP et des trains ISBP disponibles lignés pour le refroidissement de l'IRWST.

La parade étudiée pour cette séquence fonctionnelle est la mise en service de l'EVU en mode aspersion pour refroidir l'IRWST.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Perte partielle de la chaîne de refroidissement avec défaillance de l'ISMP et de l'ISBP dans les états CB2 et D » est de /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.11. Perte de l'alimentation en eau des GV par AAD dans les états A3 à B3 – Mise en service automatique des pompes APA

Cette séquence fonctionnelle intègre les situations de perte de l'alimentation en eau des GV par l'AAD dans les états d'arrêt. Dans ces situations, l'alimentation en eau des GV peut être assurée par les pompes APA qui redémarrent automatiquement.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Perte de l'alimentation en eau des GV par AAD dans les états A3 à B3 » est de /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.12. Perte de l'alimentation en eau des GV par APA dans les états A1 et A2 – Mise en service automatique de la pompe AAD

Cette séquence fonctionnelle intègre les situations, dans les états A1 et A2, de perte de l'alimentation en eau des GV par les pompes APA, suite à la perte de la ligne principale d'alimentation électrique. Dans ces situations, en cas de succès du basculement de l'alimentation électrique sur le Transformateur Auxiliaire (TA), l'alimentation en eau des GV peut être assurée par la pompe AAD.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Perte de l'alimentation en eau des GV par APA dans les états A1 et A2 » est de /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.13. APRP intérieur enceinte sans ISMP dans les états C et D – Mise en service de l'ISBP

Dans les situations de brèche primaire, en cas de défaillance de l'ISMP, la parade étudiée est la mise en service de l'ISBP en mode injection afin de garantir le maintien de l'inventaire primaire. La mise en service de l'injection s'effectue par [] depuis la salle de commande de démarrage du train ISBP (train 1 ou 4) en attente, ou dans les états Ca4 à D par le démarrage automatique du train ISBP (train 1 ou 4) en attente, en mode réduit, sur signal « Bas Niveau boucle ».

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « APRP intérieur enceinte sans ISMP dans les états C et D » est de [] /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.14. RTGV avec échec du signal PS d'isolement du générateur de vapeur affecté en état A – Isolement [] du GV affecté

Dans cette séquence fonctionnelle sont intégrées les situations de RTGV où le signal PS d'isolement du générateur de vapeur affecté par la rupture a échoué. L'isolement consiste en la fermeture de la ligne de charge RCV et de la VIV du GV affecté (avec relèvement du point de consigne des vannes de décharge à l'atmosphère).

En cas d'échec du signal, cet isolement doit être réalisé par l'opérateur. Cela constitue la parade potentielle associée à la séquence fonctionnelle.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « RTGV avec échec du signal PS d'isolement du générateur de vapeur affecté en état A » est de [] /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.15. APRP intérieur enceinte sans signal PS de démarrage de l'ISMP en état C et D – Mise en service [] de l'ISMP

Dans les états C et D, en situation de brèche primaire, l'injection de sécurité par l'ISMP est initiée automatiquement par le biais du signal PS « Haut Delta Psat ».

En cas de défaillance de ce signal, afin de garantir le maintien de l'inventaire primaire, le démarrage de l'ISMP est assuré par l'opérateur.

La mise en service [] de l'ISMP est la parade potentielle associée à la séquence fonctionnelle.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « RTGV avec échec du signal PS d'isolement du générateur de vapeur affecté en état A » est de [] /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.1.16. Dilution homogène isolable avec échec matériel de l'isolement du RCV dans les états A1 et A2 – Isolement [] de la dilution en CIA suivant les informations issues de la PAD

La séquence fonctionnelle est constituée des transitoires de dilution homogène avec succès du signal PAD et échec de l'isolement matériel du réservoir RCV.

L'isolement [] de la dilution en CIA suivant les informations issues de la PAD est la parade potentielle associée à la séquence fonctionnelle.

La fréquence de fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Dilution homogène isolable avec échec matériel de l'isolement du RCV dans les états A1 et A2 » est de [] /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.2. DISPOSITIFS NON RETENUS VIS-À-VIS DU RISQUE DE BIPASSE DE L'ENCEINTE DE CONFINEMENT SANS FUSION DU CŒUR**7.2.1. Brèche primaire avec défaillance du signal PS d'isolement automatique de l'enceinte dans l'état A – Isolement automatique de l'enceinte sur signal d'IS émis au SPPA T2000**

Cette séquence fonctionnelle intègre, dans l'état A, l'ensemble des transitoires de brèche primaire de toute taille, sans fusion du cœur, pour lesquels la défaillance du signal PS d'isolement enceinte peut conduire à des rejets supérieurs aux limites PCC-4.

L'isolement enceinte en phase 1 est initié par le signal « Haute Pression Enceinte » émis par le PS.

En cas de défaillance de ce signal transitant par le PS, l'isolement de l'enceinte de confinement réalisé sur signal d'IS émis au SPPA T2000 permet de limiter les rejets et d'assurer le respect des limites radiologiques PCC-4.

L'isolement automatique de l'enceinte sur signal d'IS émis au SPPA T2000 est la parade potentielle associée à la séquence fonctionnelle.

La fréquence de bipasse de l'enceinte de confinement sans fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Brèche primaire avec défaillance du signal PS d'isolement automatique de l'enceinte dans l'état A » est de \square /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.2.2. Brèche primaire inférieure à 3 pouces avec défaillance des signaux PS et SPPA-T2000 d'isolement automatique de l'enceinte dans les états A et B – Action \square d'isolement de l'enceinte au PIPO par l'opérateur

Cette séquence fonctionnelle intègre, dans les états A et B, l'ensemble des transitoires de brèche primaire de diamètre équivalent inférieur à 3 pouces, sans fusion du cœur, pour lesquels la défaillance de l'isolement de l'enceinte par défaillance des signaux PS et SPPA-T2000 peut conduire à des rejets supérieurs aux limites PCC-4.

En cas de défaillance de ces signaux, l'isolement de l'enceinte de confinement réalisé au PIPO par l'opérateur permet de limiter les rejets et d'assurer le respect des limites radiologiques PCC-4.

L'action \square d'isolement de l'enceinte au PIPO par l'opérateur est la parade potentielle associée à la séquence fonctionnelle.

La fréquence de bipasse de l'enceinte de confinement sans fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Brèche primaire inférieure à 3 pouces avec défaillance des signaux PS et SPPA-T2000 d'isolement automatique de l'enceinte dans les états A et B » est de \square /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.2.3. Brèche primaire avec défaillance de l'automatisme de mise en service de la ventilation/ filtration EDE dans les états A et B – Action \square de mise en service d'une file iode EDE \square

Cette séquence fonctionnelle intègre, dans les états A et B, l'ensemble des transitoires aboutissant à une rupture de gaine, sans fusion du cœur, pour lesquels la défaillance de la ventilation et de la filtration assurées par le système EDE peut conduire à des rejets supérieurs aux limites PCC-4.

La mise en service de ce système est automatique. En cas de défaillance de cet automatisme, la mise en service d'une file iode EDE par l'opérateur permet de garantir le respect des limites radiologiques PCC-4.

L'action \square de mise en service d'une file iode EDE \square est la parade potentielle associée à la séquence fonctionnelle.

La fréquence de bipasse de l'enceinte de confinement sans fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Brèche primaire avec défaillance de l'automatisme de mise en service de la ventilation/

filtration EDE dans les états A et B » est de 10^{-6} /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.2.4. Brèche primaire avec défaillance de l'automatisme de mise en service des ventilations EBA et DWL dans les états A et B – Action 10^{-6} de mise en service d'une file EBA et DWL 10^{-6}

Cette séquence fonctionnelle intègre, dans les états A et B, l'ensemble des transitoires aboutissant à une rupture de gaine, sans fusion du cœur, pour lesquels la défaillance de la ventilation assurée par les systèmes EBA et DWL peut conduire à des rejets supérieurs aux limites PCC-4.

La mise en service de ces systèmes est automatique. En cas de défaillance de cet automatisme, la mise en service d'une file EBA et DWL 10^{-6} permet de garantir le respect des limites radiologiques PCC-4.

L'action 10^{-6} de mise en service d'une file EBA et DWL 10^{-6} est la parade potentielle associée à la séquence fonctionnelle.

La fréquence de bipasse de l'enceinte de confinement sans fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « Brèche primaire avec défaillance de l'automatisme de mise en service des ventilations EBA et DWL dans les états A et B » est de 10^{-6} /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.2.5. RTGV cumulée à la défaillance d'isolement du GV affecté par sa VDA dans les états A1 et A2 – Action 10^{-6} de mise en oeuvre d'un Refroidissement Maximal du circuit primaire 10^{-6}

Cette séquence fonctionnelle intègre, dans les états A1 et A2, l'ensemble des transitoires de RTGV cumulée à la non refermeture d'une VDA après sa sollicitation. Cette séquence inclut également la transitoire équivalent de RTV en amont de la VIV cumulée à une RTGV induite.

Dans ces situations, la mise en oeuvre 10^{-6} d'un Refroidissement Maximal du circuit primaire permet d'éviter le débordement du GV affecté par la RTGV et le non respect des limites radiologiques PCC-4.

La mise en oeuvre 10^{-6} d'un Refroidissement Maximal du circuit primaire est la parade potentielle associée à la séquence fonctionnelle.

La fréquence de bipasse de l'enceinte de confinement sans fusion du cœur associée à la séquence fonctionnelle « RTGV cumulée à la défaillance d'isolement du GV affecté par sa VDA dans les états A1 et A2 » est de 10^{-6} /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.3. DISPOSITIFS NON RETENUS VIS-À-VIS DU RISQUE D'ENDOMMAGEMENT DES ASSEMBLAGES COMBUSTIBLE DANS LE BK

7.3.1. Baisse accidentelle du niveau de la piscine BK dans les états A à D avec échec ou insuffisance de l'appoint JAC/JPI – Mise en service 10^{-6} d'un appoint de l'IRWST à la piscine BK via la purification PTR

Dans les situations de perte des moyens de réfrigération menant à terme à une baisse de niveau de la piscine par évaporation ou à une vidange de la piscine de désactivation, le découvrage des assemblages combustible est évité par le biais d'un appoint en eau à la piscine, 10^{-6} .

Dans les états A à D, en cas de défaillance de l'appoint par JPI ou dans le cas où l'initiateur n'est pas récupéré avant la fin de l'appoint JAC/JPI, il peut être réalisé, 10^{-6} , un appoint par le circuit de purification de la piscine de désactivation.

La mise en oeuvre de cet appoint par le circuit de purification PTR constitue la parade potentielle associée à la séquence fonctionnelle.

La fréquence d'endommagement des assemblages combustible dans la piscine BK associée à la séquence fonctionnelle « Baisse accidentelle du niveau de la piscine BK dans les états A à D avec

échec ou insuffisance de l'appoint JAC/JPI » est de **1** /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

7.3.2. Vidange de la piscine BK par défaut d'isolement entre compartiments BK ou BR dans les états A à D – Déclenchement des pompes de purification PTR

Lors d'opérations d'exploitation telles que vidange volontaire de la piscine BR ou transfert d'eau entre compartiments du BK, tout défaut d'isolement entre les piscines ou compartiments en communication conduit à la vidange progressive de la piscine de désactivation simultanément à la piscine ou compartiment vidangé. La baisse du niveau d'eau engendrée dans la piscine de désactivation conduit au déclenchement automatique ou manuel des pompes de purification PTR chargées des transferts de fluide sur signal « Bas Niveau piscine BK » et à l'arrêt de la vidange de la piscine.

Si les pompes de purification n'ont pu être arrêtées, la fermeture automatique des vannes de fond de compartiment sur signal « Très bas Niveau piscine BK » permet de réduire le risque de découvrement des assemblages combustible à un niveau acceptable.

La fermeture automatique des vannes de fond de compartiment sur signal « Très bas Niveau piscine BK » constitue la parade potentielle associée à la séquence fonctionnelle.

La fréquence d'endommagement des assemblages combustible dans la piscine BK associée à la séquence fonctionnelle « Vidange de la piscine BK par défaut d'isolement entre compartiments BK ou BR dans les états A à D » est de **1** /tr x an sans valorisation de la parade. Par conséquent, cette parade n'est pas retenue.

8. CONCLUSION

L'application de la méthode d'identification des dispositions RRC-A et séquences fonctionnelles associées, basée sur l'utilisation des résultats de l'EPS EPR de réalisation de Flamanville 3, exposée dans ce chapitre, a permis de mettre en évidence :

- 11 séquences fonctionnelles RRC-A vis-à-vis du risque de fusion du cœur,
- 1 séquence fonctionnelle RRC-A vis-à-vis du risque de bipasse de l'enceinte sans fusion du cœur,
- 3 séquences fonctionnelles RRC-A vis-à-vis du risque d'endommagement des assemblages combustible dans le BK.

La liste complète et finale des dispositions RRC-A issues des études déterministes est présentée dans la section 19.1.2.

TAB-18.1.2.1 SÉQUENCES FONCTIONNELLES RRC-A RETENUES VIS-À-VIS DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR

| Séquences fonctionnelles | N° | Dispositions issues des EPS | Quantification Sans parade (/tr x an) |
|---|--------|---|---|
| ATWS par blocage mécanique de grappes en état A | SFA | Borication automatique sur signal ATWS | □ |
| | | - Arrêt automatique des GMPP sur cumul signal ATWS et « Bas Niveau GV » | □ |
| ATWS par défaillance du PS en état A | SFB_1 | - AAR diversifié sur « Bas Niveau GV » - Ouverture VDA sur signal « Haute Pression GV » - Démarrage ASG sur signal « Bas Niveau GV » | □ |
| | SFB_2a | - AAR diversifié sur signal « Très Bas Débit Boucle dans une boucle sur quatre » - Ouverture VDA sur signal « Haute Pression GV » - Démarrage ASG sur signal « Bas Niveau GV » | □ |
| | SFB_2b | - AAR diversifié sur signal « Bas Débit Boucle dans deux boucles sur quatre » - □ du DEA - Ouverture VDA sur signal « Haute Pression GV » - Démarrage □ des SBO - Démarrage □ des trains ASG 1 et 4 - Mise en oeuvre □ d'un refroidissement secondaire par VDA | □ |
| | SFB_3 | - AAR diversifié sur « Haute Pression GV » - Démarrage ASG sur signal « Bas Niveau GV » - Ouverture VDA sur signal « Haute Pression GV » | □ |
| | SFB_4 | - AAR diversifié sur « Basse Pression Branche Chaude » | □ |
| | | - IS / refroidissement partiel sur « Très Basse Pression Branche Chaude » | □ |
| | SFB_5 | - AAR diversifié et fermeture des VIV sur « Basse Température Branche Froide » | □ |

| Séquences fonctionnelles | N° | Dispositions issues des EPS | Quantification Sans parade (/tr x an) |
|--|--------------|---|---------------------------------------|
| | | - Démarrage ASG sur signal « Bas Niveau GV » | |
| | SFB_6 | AAR diversifié sur « Puissance Nucléaire Elevée » | □ |
| | SFB_7 | Démarrage ASG sur signal « Bas Niveau GV » | □ |
| | SFB_8 | Ouverture VDA sur signal « Haute Pression GV » | □ |
| Perte des alimentations électriques internes et externes états A à CA4 | SFC | - Mise en place automatique du DEA - Démarrage □ des deux SBO, après d'inhibition sélective des sorties du système de protection - Mise en service □ des trains ASG 1 et 4 - Refroidissement contrôlé par le secondaire | □ |
| Perte totale de l'alimentation en eau des GV dans les états A et B3 | SFD_1 | - Gavé ouvert - Chute des grappes anticipée sur signal RCSL sur perte ARE | □ |
| Perte totale du refroidissement primaire en état CB1 | SFD_2 | - Gavé ouvert - Démarrage □ de l'EVU en aspersion | □ |
| Perte totale de la source froide conduisant à une brèche aux joints des pompes primaires dans les états A1, A2, B1 et B2 | SFE_1 | - Mise en oeuvre □ d'un refroidissement par le secondaire - Basculement automatique du refroidissement des pompes IBSP 1 et 4 sur leur source froide diversifiée DEL - Démarrage □ de l'EVU en aspersion | □ |
| Perte totale des alimentations électriques conduisant à une brèche aux joints des pompes primaires dans les états A1 et A2 | SFE_2 | - Démarrage □ des SBO, après inhibition sélective des sorties du système de protection - Démarrage □ des trains ASG 1 et 4 - Mise en oeuvre □ d'un refroidissement par le secondaire pour rejoindre les conditions d'injection de l'ISBP - Démarrage □ de l'EVU en aspersion | □ |
| APRP avec défaillance de l'ISMP dans les états A1 et A2 | SFF | Mise en service □ d'un refroidissement secondaire | □ |

| Séquences fonctionnelles | N° | Dispositions issues des EPS | Quantification Sans parade (/tr x an) |
|---|--------------|---|---------------------------------------|
| APRP avec défaillance de l'ISBP dans les états A1, A2, CA1, CB2 et D | SFG | Mise en service ☐ de l'EVU en aspersion | ☐ |
| Baisse incontrôlée du niveau primaire sans signal d'IS du système de protection dans les états CB et D | SFH | Signal diversifié d'IS sur « Bas Niveau Boucle » | ☐ |
| Brèche primaire avec défaillance du signal PS d'injection de sécurité dans les états A1 et A2 | SFI | IS et refroidissement partiel sur signal diversifié de « Très Basse Pression Branche Chaude » | ☐ |
| Perte totale de la chaîne de refroidissement dans les états CB2 et D | SFJ_1 | <ul style="list-style-type: none"> - Mise en service ☐ ou automatique sur signal PS « Bas Niveau boucle » de l'ISBP - Basculement automatique du refroidissement du moteur de la pompe ISBP en attente (train 1 ou 4) sur le circuit de refroidissement diversifié par DEL - Démarrage ☐ de l'EVU en aspersion | ☐ |
| Perte totale des alimentations électriques dans les états CB1 à D | SFJ_2 | <ul style="list-style-type: none"> - Démarrage automatique des SBO - Mise en service ☐ ou automatique sur signal PS « Bas Niveau boucle » de l'ISBP - Basculement automatique du refroidissement des moteurs des pompes ISBP trains 1 et 4 sur leur circuit de refroidissement diversifié par DEL - Démarrage ☐ de l'EVU en aspersion | ☐ |
| Perte partielle de la chaîne de refroidissement avec défaillance de l'ISBP dans les états CB2 et D | SFJ_3 | Mise en service ☐ de l'EVU en aspersion | ☐ |
| Perte partielle de la chaîne de refroidissement avec défaillance de l'ISMP et de l'ISBP dans les états CB2 et D | SFJ_4 | Mise en service automatique des trains ISBP en attente (1 ou 4) en mode réduit | ☐ |

| Séquences fonctionnelles | N° | Dispositions issues des EPS | Quantification Sans parade (/tr x an) |
|--|--------------|--|---------------------------------------|
| Dilution homogène isolable avec défaillance du signal PAD au TXS en état A1 | SFM_1 | - Isolement automatique du REAeau sur signal « Block Dilution » - Isolement <input type="checkbox"/> de la dilution sur alarme « Ecart CB REN important » | <input type="checkbox"/> |
| Dilution homogène isolable avec défaillance du signal PAD au TXS dans les états A3 à E | SFM_2 | - Isolement automatique du REAeau sur signal « Block Dilution » - Isolement automatique de la dilution sur signal « CB REN mesurée faible » | <input type="checkbox"/> |

TAB-18.1.2.2 SÉQUENCES FONCTIONNELLES RRC-A
RETENUES VIS-À-VIS DU RISQUE DE BIPASSE DE
L'ENCEINTE SANS FUSION DU CŒUR

| Séquences fonctionnelles | N° | Dispositions issues des EPS | Quantification Sans parade (/tr x an) |
|---|------------|--|---------------------------------------|
| RTGV cumulée à la défaillance d'isolement du GV affecté par sa VIV dans l'état A1 | SFL | Récupération en local de l'isolement vapeur sur le GV affecté □ | □ |

TAB-18.1.2.3 SÉQUENCES FONCTIONNELLES RRC-A RETENUES VIS-À-VIS DU RISQUE D'ENDOMMAGEMENT DU COMBUSTIBLE DANS LA PISCINE DE DÉSACTIVATION

| Séquences fonctionnelles | N° | Dispositions issues des EPS | Quantification Sans parade (/tr x an) |
|---|------------|--|---|
| Perte des deux trains PTR principaux en situation de MDTG en état F | SFN | - Mise en service ☐ de la 3ème file PTR (+EVUi +SRU) - Mise en service ☐ des diesels d'ultime secours pour l'alimentation électrique de la 3ème file PTR, de l'EVUi et du SRU | ☐ |
| Perte des deux trains PTR principaux notamment par perte de la station de pompage dans les états E et F | SFO | Mise en service ☐ de la 3ème file PTR (+EVUi +SRU) | ☐ |
| Perte totale du refroidissement de la piscine BK en situation de MDTG dans les états A à F | SFP | Mise en service ☐ des diesels d'ultime secours pour l'alimentation électrique du JAC/JPI | ☐ |

TAB-18.1.2.4 SÉQUENCES FONCTIONNELLES NON RETENUES

| Non retenues vis-à-vis du risque | Séquences fonctionnelles | Parades | Quantification sans parade (/tr x an) |
|----------------------------------|--|---|---------------------------------------|
| Fusion du cœur | ATWS par blocage mécanique des grappes en état A | Mise en service <input type="checkbox"/> d'une borication | <input type="checkbox"/> |
| | | Borication et injection aux joints des GMPP automatique | <input type="checkbox"/> |
| | ATWS par défaillance du système de protection du réacteur en état A | AAR et isolement des VIV affectées sur signal diversifié | <input type="checkbox"/> |
| | APRP avec perte du secondaire en états A à CB1 | Mise en oeuvre du gavé ouvert et AAR anticipé sur signal RCSL de chute de grappes sur perte ARE | <input type="checkbox"/> |
| | Grosse RTV Aval VIV en états A et B | | <input type="checkbox"/> |
| | Perte totale du refroidissement primaire par perte électrique en état C | Mise en oeuvre du gavé ouvert | <input type="checkbox"/> |
| | ATWS par perte PS cumulé à une perte totale des alimentations électriques externes et une brèche aux joints des GMPP en état A | Mise en service <input type="checkbox"/> du refroidissement secondaire | <input type="checkbox"/> |
| | | Mise en service <input type="checkbox"/> de l'EVU en mode aspersion | <input type="checkbox"/> |
| | | Mise en service <input type="checkbox"/> de l'ISBP avec basculement du refroidissement sur DEL | <input type="checkbox"/> |
| | Perte partielle des alimentations électriques avec défaillance de l'ISBP dans les états CB2 et D | Mise en service <input type="checkbox"/> de l'EVU | <input type="checkbox"/> |
| | Perte partielle de la chaîne de refroidissement avec défaillance de l'ISMP et de l'ISBP dans les états CB2 et D | Mise en service <input type="checkbox"/> de l'EVU | <input type="checkbox"/> |
| | Perte de l'alimentation en eau des GV par AAD dans les états A3 à B3 | Mise en service automatique des pompes APA | <input type="checkbox"/> |
| | Perte de l'alimentation en eau des GV par APA dans les états A1 et A2 | Mise en service automatique de la pompe AAD | <input type="checkbox"/> |

| Non retenues vis-à-vis du risque | Séquences fonctionnelles | Parades | Quantification sans parade (/tr x an) |
|--|---|---|---------------------------------------|
| | APRP intérieur enceinte sans ISMP dans les états C et D | Mise en service de l'ISBP | ☐ |
| | RTGV avec échec du signal PS d'isolement du GV affecté en état A | Isolement ☐ du GV affecté | ☐ |
| | APRP intérieur enceinte sans signal PS de démarrage de l'ISMP dans les états C et D | Mise en service ☐ de l'ISMP | ☐ |
| | Dilution homogène isolable avec échec matériel de l'isolement du RCV dans les états A1 et A2 | Isolement ☐ de la dilution en CIA suivant les informations issues de la PAD | ☐ |
| Bipasse sans fusion du cœur | Brèche primaire avec défaillance du signal PS d'isolement automatique de l'enceinte dans l'état A | Isolement automatique de l'enceinte sur signal d'IS émis au SPPA-T2000 | ☐ |
| | Brèche primaire inférieure à 3 pouces avec défaillance des signaux PS et SPPA-T2000 d'isolement automatique de l'enceinte dans les états A et B | Action ☐ d'isolement de l'enceinte au PIPO par l'opérateur | ☐ |
| | Brèche primaire avec défaillance de l'automatisme de mise en service de la ventilation/filtration EDE dans les états A et B | Action ☐ de mise en service d'une file iode EDE par l'opérateur | ☐ |
| | Brèche primaire avec défaillance de l'automatisme de mise en service des ventilations EBA et DWL dans les états A et B | Action ☐ de mise en service d'une file EBA et DWL par l'opérateur | ☐ |
| | RTGV cumulée à la défaillance d'isolement du GV affecté par sa VDA dans les états A1 et A2 | Mise en oeuvre d'un Refroidissement Maximal par l'opérateur | ☐ |
| Endommagement du combustible dans la piscine de désactivation | Baisse accidentelle du niveau de la piscine BK avec échec ou insuffisance de l'appoint JAC/JPI dans les états A à D | Mise en service ☐ d'un appoint de l'IRWST à la piscine BK via la purification PTR | ☐ |
| | Vidange de la piscine BK par défaut d'isolement entre compartiments BK ou BR dans les états A à D | Déclenchement des pompes de purification PTR | ☐ |

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| .18.1.3 EPS N1 — FAMILLES D'INITIATEURS "PRATIQUEMENT ÉLIMINÉS" | 3 |
| 1. INTRODUCTION | 3 |
| 1.1. NOTIONS GÉNÉRALES | 3 |
| 1.2. DONNÉES D'ENTRÉES | 3 |
| 2. FAMILLE "DILUTIONS HETEROGENES EXTERNES" | 3 |
| 2.1. CHAMPS ET LIMITE DE L'ÉTUDE | 3 |
| 2.2. CARACTÉRISTIQUES DES DILUTIONS HÉTÉROGÈNES EXTERNES | 4 |
| 2.2.1. DILUTIONS HÉTÉROGÈNES EXTERNES | 4 |
| 2.2.2. FORMATION D'UN BOUCHON D'EAU CLAIRE | 4 |
| 2.2.3. TAILLE CRITIQUE DU BOUCHON D'EAU CLAIRE | 5 |
| 2.2.4. CONTRE MESURE VIS-À-VIS DES INITIATEURS DE DILUTIONS HÉTÉROGÈNES EXTERNES | 5 |
| 2.3. DESCRIPTION DES SCÉNARIOS DE DILUTIONS HÉTÉROGÈNES EXTERNES | 5 |
| 2.3.1. DILUTION SUITE À UNE PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES | 5 |
| 2.3.2. DILUTION PROVENANT DU REA | 6 |
| 2.3.3. DILUTION PROVENANT DU RCV | 8 |
| 2.3.4. DILUTION PROVENANT DU RIS | 10 |
| 2.3.5. DILUTION PROVENANT DU RBS | 14 |
| 2.3.6. DILUTION PROVENANT DU REN | 14 |
| 2.3.7. DILUTION PROVENANT DE LA BARRIÈRE THERMIQUE | 15 |
| 2.3.8. DILUTION PROVENANT DE L'ENVIRONNEMENT (OUVERTURE DU PRIMAIRE) | 15 |
| 2.4. SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS DE DILUTIONS HÉTÉROGÈNES EXTERNES | 16 |
| 3. FAMILLE "BIPASSE DU CONFINEMENT" (V-LOCA) | 16 |
| 3.1. CHAMPS ET LIMITE DE L'ÉTUDE | 16 |
| 3.2. DESCRIPTION DES SCÉNARIOS DE BIPASSE DU CONFINEMENT | 17 |



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 18

SECTION 1.3

PAGE 2/25

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

| | |
|---|----|
| 3.2.1. BIPASSE DU CONFINEMENT SUR LE CIRCUIT RCV | 17 |
| 3.2.2. BIPASSE DU CONFINEMENT SUR LE SYSTÈME RIS | 19 |
| 3.2.3. BIPASSE DU CONFINEMENT SUR LE SYSTÈME RBS | 22 |
| 3.2.4. BIPASSE DU CONFINEMENT SUR LE SYSTÈME RRI | 22 |
| 3.2.5. BIPASSE DU CONFINEMENT SUR LE SYSTÈME EVU | 23 |
| 3.2.6. BIPASSE DU CONFINEMENT SUR LES SYSTÈMES REN / RPE / RDP | 23 |
| 3.3. SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS DE BIPASSE DU CONFINEMENT | 23 |
| 4. SYNTHÈSE | 24 |
| 5. CONCLUSIONS | 24 |
| LISTE DE RÉFÉRENCES | 25 |

.18.1.3 EPS N1 — FAMILLES D'INITIATEURS "PRATIQUEMENT ÉLIMINÉS"

1. INTRODUCTION

1.1. NOTIONS GÉNÉRALES

Conformément aux Directives techniques, les situations d'accidents avec fusion du cœur qui conduiraient à des rejets précoces importants doivent être pratiquement éliminées". La preuve que les situations d'accidents susceptibles de conduire à des rejets précoces importants sont "pratiquement éliminées" est basée sur des considérations déterministes et des évaluations probabilistes. L'analyse détaillée de ces études d'accidents est présentée au sous-chapitre 19.2.

Ce chapitre présente les résultats des analyses probabilistes des scénarios des familles d'initiateurs suivantes, dont les conséquences sont assimilées à des rejets précoces importants :

- Dilutions hétérogènes externes ;
- Bypass du confinement.

Les cibles probabilistes de sûreté des situations d'accidents pour lesquelles il convient de démontrer leur "élimination pratique" sont décrites dans le sous-chapitre 18.0 "Exigences de sûreté" :

- Les situations (hors agressions) conduisant à une évacuation de la population au-delà du voisinage immédiat de l'installation doivent avoir une fréquence inférieure à $10^{-07}/a.r$;
- La contribution au risque de rejets importants et précoces de chaque famille doit être équilibré, avec une fréquence cible de $10^{-08}/a.r$.

L'analyse fonctionnelle et la quantification des initiateurs potentiels de ces deux familles font l'objet respectivement des documents en [Réf \[1\]](#) et [Réf \[2\]](#).

1.2. DONNÉES D'ENTRÉES

L'analyse, la modélisation et la quantification des scénarios des initiateurs de dilutions hétérogènes et de bypass du confinement, s'appuient sur les données d'entrée suivantes, détaillées dans la section 18.1.1 :

- Les durées des états standards du profil de fonctionnement de l'EPR (Section 18.1.1, paragraphe 2.1.1) ;
- Les paramètres de fiabilité des familles de matériels de l'EPR (Section 18.1.1, paragraphe 2.1.2) ;
- La modélisation des défaillances de cause communes (Section 18.1.1, paragraphe 2.1.4) ;
- La modélisation du contrôle-commande avec le "Modèle Compact" (Section 18.1.1, paragraphe 2.2) ;
- La modélisation du facteur humain pré-accidentel (Section 18.1.1, paragraphe 2.3.2.2).

2. FAMILLE "DILUTIONS HETEROGENES EXTERNES"

2.1. CHAMPS ET LIMITE DE L'ÉTUDE

Les événements initiateurs de dilution peuvent être classés en deux catégories :

- Les dilutions homogènes : elles sont progressives et la concentration en bore du primaire reste homogène. L'évaluation probabiliste des scénarios provenant d'une dilution homogène figure dans la section 18.1.1 ;

- Les dilutions hétérogènes externes : elles correspondent à la formation d'un bouchon d'eau claire envoyé vers le coeur, après la mise en service d'une pompe primaire.

Le présent chapitre couvre les dilutions hétérogènes.

"L'élimination pratique" des accidents d'injection rapide de réactivité nécessite une étude détaillée de chaque scénario de dilution hétérogène externe, en prenant en considération l'ensemble des lignes de défense pour ce scénario.

L'analyse suit les trois étapes suivantes :

- Première étape : Détermination de la « taille critique de bouchon » d'eau claire à ne pas dépasser, sur la base de considérations thermo-hydrauliques et neutroniques, afin d'empêcher toute possibilité de transitoire de criticité pouvant compromettre l'intégrité du coeur ;
- Deuxième étape : Examen détaillé de toutes les séquences potentielles pouvant conduire au transfert vers le coeur d'un bouchon d'eau claire dépassant la taille critique, en considérant tous les moyens nécessaires à l'atteinte de "l'élimination pratique" de ces séquences (voir sous-chapitre 19.2) ;
- Troisième étape : Analyse probabiliste des risques, afin de vérifier l'adéquation des solutions techniques avec l'objectif d' "élimination pratique".

2.2. CARACTÉRISTIQUES DES DILUTIONS HÉTÉROGÈNES EXTERNES

2.2.1. Dilutions hétérogènes externes

Les dilutions hétérogènes externes se caractérisent par :

- La formation d'un bouchon d'eau claire avec une faible concentration de bore dans certaines parties du circuit primaire, alors que la concentration de bore dans le reste du circuit primaire ne varie pas (cette formation est due à une anomalie de fonctionnement d'un circuit connecté ou d'erreur opérateur) ;
- La taille critique du bouchon d'eau claire ayant un impact sur la criticité du coeur (correspond à une insertion massive et rapide de réactivité dans le coeur) ;
- La mise en circulation du bouchon d'eau claire vers et à travers le coeur, propulsé au redémarrage des pompes primaires, alors que la puissance résiduelle était insuffisante pour assurer une circulation naturelle dans les boucles (le bouchon d'eau claire se forme uniquement en l'absence de débit forcé dans le primaire).

La diminution de la concentration en bore induite par la formation d'un bouchon non critique n'a pas de conséquence sur l'intégrité du combustible. Seuls les scénarios pouvant conduire à la formation d'un bouchon d'eau claire de taille supérieure au volume limite dans une boucle du circuit primaire où l'homogénéisation du fluide n'est pas garantie sont donc étudiés dans le présent chapitre.

Sont donc exclus de l'analyse, les scénarios qui :

- Conduisent à redémarrer au moins une pompe primaire avant l'envoi du bouchon d'eau claire vers le coeur ;
- Correspondent à la formation d'un bouchon d'eau claire inférieur à la taille critique ;
- Sont susceptibles de ne survenir qu'en état F dans lequel le coeur est entièrement déchargé.

2.2.2. Formation d'un bouchon d'eau claire

La formation d'un bouchon d'eau claire résulte d'une accumulation directe ou d'une injection depuis des circuits connexes d'eau non borée, dans le RCP. Dans tous les cas, le risque de dilution hétérogène est considéré uniquement en l'absence de débit forcé dans le primaire.

Les principaux risques, susceptibles de conduire à des dilutions hétérogènes, sont les injections par le RCV ou le RBS dans les conditions de fonctionnement du RCP à sa pression nominale, les injections par le RIS (RIS-RA, RIS-MP et Accumulateurs), dans les conditions de fonctionnement du RCP à basse pression, ou des arrivées d'eau diverses (fuite échangeurs, etc.) dans les conditions de fonctionnement du RCP avec GMPP arrêtées, circuit dépressurisé ou ouvert.

2.2.3. Taille critique du bouchon d'eau claire

La taille critique du bouchon d'eau claire dont la mise en circulation dans le circuit primaire peut conduire à l'atteinte de la criticité du coeur et à dégrader l'intégrité du combustible, est retenue conservativement dans le cadre de l'étude probabiliste des dilutions hétérogènes à 1 m^3 .

Il faut noter que le fait d'atteindre localement la concentration critique moyenne en bore pour le coeur n'entraîne pas nécessairement un risque de retour en criticité dans le coeur et un risque de fusion.

2.2.4. Contre mesure vis-à-vis des initiateurs de dilutions hétérogènes externes

Tous les scénarios possibles susceptibles de conduire à des dilutions hétérogènes externes sont examinés.

Pour tous les scénarios pouvant conduire à la formation de bouchons de taille supérieure à la taille critique, des dispositions systèmes particulières ont été introduites :

- Soit pour leur élimination ;
- Soit pour réduire de manière significative leur probabilité d'apparition.

"L'élimination pratique" des scénarios de dilution hétérogène externe repose notamment sur les dispositions de conception suivantes :

- L'isolement (classé F1A) de la ligne d'aspiration RCV du réservoir de contrôle volumétrique sur la base des boremètres connectés et installés en aval des pompes de charge RCV. Cette fonction a été introduite afin de réduire significativement la probabilité que les scénarios de dilution les plus probables déclenchés par le dysfonctionnement de l'appoint du RCV ou des erreurs de l'opérateur entraînent la formation d'un bouchon d'eau claire ;
- Les lignes de charge RCV : mise en oeuvre d'un basculement automatique de l'aspiration des pompes de charge du circuit de contrôle chimique et volumétrique sur la piscine du système RIS (IRWST) ;
- Les exigences techniques et les mesures d'exploitation relatives aux échangeurs thermiques refroidis par le circuit RRI et aux systèmes de refroidissement des pompes.

2.3. DESCRIPTION DES SCÉNARIOS DE DILUTIONS HÉTÉROGÈNES EXTERNES

2.3.1. Dilution suite à une perte des alimentations électriques

S00 : Perte des alimentations électriques, durant des opérations normales de dilution

Le scénario S00 correspond à l'occurrence d'une perte du réseau externe durant une opération normale de dilution du RCP par ajustement de la concentration en bore via le REA/RCV. Le scénario est étudié uniquement en états A et B, les opérations normales de dilution par le REA/RCV n'étant pas réalisées dans les états d'arrêt.

En cas de perte de la circulation forcée par les pompes primaires, due à une perte totale de l'alimentation électrique principale, la puissance résiduelle est insuffisante pour assurer l'homogénéisation du fluide primaire. Le bouchon formé par les opérations de dilution en cours, est propulsé vers le coeur par les pompes de charge. Les bouchons sont générés dans chaque pompe primaire au travers de l'injection au joint n°1 et sur les branches froides n°2 et n°4. Ils seront propulsés vers le coeur au redémarrage des pompes primaires.

La parade mise en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire est :

- Etats A et B : la protection anti-dilution d'isolement de la ligne d'aspersion du RCV.

La fréquence du scénario "S00 : Perte des alimentations électriques, durant des opérations normales de dilution" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^3 m³ et traversant le coeur est de :

- Etats A et B : 10^{-4} / a.r.

2.3.2. Dilution provenant du REA

S01 : Erreur opérateur du réglage du point de consigne de la Cb du REA

Le scénario S01 correspond à l'envoi d'eau insuffisamment borée dans le circuit primaire, dû à une erreur du réglage du point de consigne de la concentration en bore du REA par l'opérateur. Le scénario est étudié dans les états A et B, et dans les états Ca à E.

Les pompes primaires sont à l'arrêt (suite à une perte totale des alimentations électriques externes dans les états où au moins une GMPP est en fonctionnement, ou normalement arrêtés dans les autres états). L'ajustement de la concentration en bore au primaire ou l'appoint au ballon RCV est effectué par l'opérateur avec une concentration en bore trop faible. Le bouchon ainsi formé est propulsé vers le coeur par les pompes de charge. De plus, des bouchons sont générés dans chaque pompe primaire au travers de l'injection au joint n°1 et sur les branches froides n°2 et n°4, au niveau des piquages RCV situés en aval des pompes primaires. Les bouchons seront propulsés vers le coeur au redémarrage des pompes primaires.

Dans les états Ca à E, l'initiateur est étudié de manière conservative, les opérations d'ajustement manuel de la concentration en bore n'étant pas réalisées.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Tous états : la protection anti-dilution d'isolement de la ligne d'aspersion du RCV et de basculement sur l'IRWST ;
- Etats Ca à E : la régulation automatique de la concentration en bore ;
- Etats Ca à E : la fonction de limitation « STOP DILUTION » d'isolement du REA.

La fréquence du scénario "S01 : Erreur opérateur du réglage du point de consigne de la Cb du REA" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^3 m³ et traversant le coeur est de :

- Etats A et B : 10^{-4} / a.r. ;
- Etats Ca à E : 10^{-4} / a.r.

S02 : Dysfonctionnement de la régulation du débit REA

Le scénario S02 correspond à l'envoi d'eau insuffisamment borée dans le circuit primaire, dû à un dysfonctionnement de la régulation du débit REA. Le scénario est étudié dans les états A à Ca3 (GMPP en service) et dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Les pompes primaires sont à l'arrêt (suite à une perte totale des alimentations électriques externes dans les états où au moins une GMPP est en fonctionnement, ou normalement arrêtés dans les autres états). La régulation automatique du débit injecté (mélange d'eau et d'acide borique à 7000 ppm) est défaillante en raison d'un dysfonctionnement d'une vanne réglante ou du contrôle commande associé. Une alarme informe les opérateurs en salle de commande de l'écart entre le débit du REA et la consigne. Si l'opérateur n'arrête pas la dilution avant la formation du bouchon critique, le bouchon ainsi formé est propulsé vers le coeur par les pompes de charge. De plus, des bouchons sont générés dans chaque pompe primaire au travers de l'injection au joint n°1 et sur les branches froides n°2 et n°4. Les bouchons seront propulsés vers le coeur au redémarrage des pompes primaires.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Tous états : la détection automatique de l'écart entre le débit REA et la consigne, par une alarme ;
- Tous états : la protection anti-dilution d'isolement de la ligne d'aspersion du RCV et de basculement sur l'IRWST ;
- Etats Ca4 à E : la fonction de limitation « STOP DILUTION » d'isolement du REA.

La fréquence du scénario "S02 : Dysfonctionnement de la régulation du débit REA" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 1 m^3 et traversant le coeur est de :

- Etats A à Ca3 : 1 / a.r. ;
- Etats Ca4 à E : 1 / a.r.

S03 : Mauvaise concentration en bore dans le réservoir REA

Le scénario S03 correspond à une concentration en bore erronée dans la bache REA, non détectée. Le scénario est étudié dans tous les états A à E.

La Cb du réservoir REA est inférieure au requis après les fonctionnements suivants :

- 1) Un appoint automatique de concentration trop faible par l'évaporateur d'acide borique, non détecté par les échantillonnages de la bache REA bore ;
- 2) Un appoint manuel de concentration trop faible du réservoir de mélange, non détecté par les actions d'homogénéisation et d'échantillonnage du réservoir de mélange et les contrôles systématiques de la Cb après intervention sur la bache REA bore ;
- 3) Une vidange incomplète de la bache avant son remplissage ou après des opérations de maintenance, non détectée par les contrôles systématiques de la Cb après intervention sur la bache REA bore.

Ces fonctionnements qui conduisent à une Cb erronée non détectée par les contrôles de surveillance peuvent provoquer l'apparition d'un bouchon d'eau claire dans le circuit primaire. Des bouchons sont générés dans chaque pompe primaire au travers de l'injection au joint n°1 et sur les branches froides n°2 et n°4. Les bouchons seront propulsés vers le coeur au redémarrage des pompes primaires.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Tous états : les contrôles systématiques de la Cb après intervention ;
- Tous états : la protection anti-dilution d'isolement de la ligne d'aspersion du RCV et de basculement sur l'IRWST ;
- Tous états : l'isolement automatique de la bache REA.

La fréquence du scénario "S03 : Mauvaise concentration en bore dans le réservoir REA" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 1 m^3 et traversant le coeur est de :

- Tous états A à E : 1 / a.r.

S04 : Rupture de tube(s) dans un échangeur REA bore

Le scénario S04 correspond à une rupture de tube(s) d'un échangeur du REA bore. Le scénario est étudié dans les états A à Ca3 (GMPP en service) et dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Les pompes primaires sont à l'arrêt (suite à une perte totale des alimentations électriques externes dans les états où au moins une GMPP est en fonctionnement, ou normalement arrêtés dans les autres

états). Lorsque les pompes REA bore sont arrêtées, la pression du REA devient inférieure à la pression du RRI, une fuite est détectée sur un échangeur. Lors de la dépressurisation, l'eau claire du RRI entre dans le circuit primaire, des bouchons sont générés dans chaque pompe primaire au travers de l'injection au joint n°1 et sur les branches froides n°2 et n°4. Les bouchons seront propulsés vers le coeur au redémarrage des pompes primaires.

La parade mise en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire est :

- Tous états : la protection anti-dilution d'isolement de la ligne d'aspersion du RCV et de basculement sur l'IRWST.

La fréquence du scénario "S04 : Rupture de tube(s) dans un échangeur REA bore" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^{-3} m³ et traversant le coeur est de :

- Etats A à Ca3 : 10^{-3} / a.r. ;
- Etats Ca4 à E : 10^{-3} / a.r.

2.3.3. Dilution provenant du RCV

S05 : Rupture de tube(s) de l'échangeur haute pression du RCV

Le scénario S05 correspond à une rupture de tube(s) de l'échangeur HP du RCV. Le scénario est étudié dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Les pompes primaires sont à l'arrêt. Lorsque la pression du RRI devient supérieure à celle du RCV, l'échec de l'isolement côté RRI de l'échangeur HP du RCV cumulé à la rupture de tube(s) de ce dernier, entraîne de l'eau claire du RRI dans le circuit primaire. Des bouchons se génèrent dans chaque pompe primaire au travers de l'injection au joint n°1 et sur les branches froides n°2 et n°4. Les bouchons seront propulsés vers le coeur au redémarrage des pompes primaires.

La parade mise en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire est :

- Etats Ca4 à E : la mise en place d'une condamnation administrative pour l'isolement côté RRI d'un échangeur HP du RCV.

La fréquence du scénario "S05 : Rupture de tube (s) de l'échangeur haute pression du RCV" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^{-3} m³ et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : 10^{-3} / a.r.

S09 : Non respect des procédures de remplacement de la résine

Le scénario S09 correspond à une dilution du RCV par le REA, due au non respect de la procédure de remplacement des résines, par l'opérateur. Le scénario est étudié dans les états A à Ca3 (GMPP en service) et dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Les pompes primaires sont à l'arrêt (suite à une perte totale des alimentations électriques externes dans les états où au moins une GMPP est en fonctionnement, ou normalement arrêtés dans les autres états). Durant le remplacement des résines, réalisé manuellement, le non respect de la procédure peut conduire à une diminution de la concentration en bore dans un déminéraliseur en cas de non fermeture des vannes d'isolement de l'eau déminéralisée. Au moment de sa mise en service, des bouchons d'eau claire transitent via le RCV dans chaque pompe primaire au travers de l'injection au joint n°1 et sur les branches froides n°2 et n°4. Les bouchons seront propulsés vers le coeur au redémarrage des pompes primaires.

La parade mise en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire est :

- Tous états : la protection anti-dilution d'isolement de la ligne d'aspersion du RCV et de basculement sur l'IRWST.

La fréquence du scénario "S09 : Non respect des procédures de remplacement de la résine" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^{-3} m³ et traversant le coeur est de :

- Etats A et B : 10^{-3} / a.r. ;
- Etats Ca à E : 10^{-3} / a.r.

S10 : Non respect des procédures de mise en service d'un déminéraliseur

Le scénario S10 correspond à une dilution du RCV par le REA, due au non respect de la procédure de mise en service d'un déminéraliseur, par l'opérateur. Le scénario est étudié dans les états A à Ca3 (GMPP en service) et dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Le scénario résulte des initiateurs suivants :

- Lors du renouvellement des résines d'un déminéraliseur, ce dernier ne doit pas être mis en service pendant la phase précédant la mise en service de la première pompe primaire. Si ce délai n'est pas respecté, les résines ne sont plus saturées en bore ;
- Un déminéraliseur est isolé pendant le fonctionnement en puissance, son contenu possède alors une faible concentration en bore s'il est reconnecté au RCV sans vidange préalable et sans déviation du fluide vers le primaire.

Dans ces deux cas, le non respect de la procédure peut conduire à une diminution de la concentration en bore dans un déminéraliseur. Au moment de sa mise en service, des bouchons d'eau claire transitent via le RCV dans chaque pompe primaire au travers de l'injection au joint n° 1 et sur les branches froides n° 2 et n° 4. Les bouchons seront propulsés vers le coeur au redémarrage des pompes primaires.

La parade mise en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire est :

- Tous états : la protection anti-dilution d'isolement de la ligne d'aspersion du RCV et de basculement sur l'IRWST.

La fréquence du scénario "S10 : Non respect des procédures de mise en service d'un déminéraliseur" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^{-3} m³ et traversant le coeur est de :

- Etats A et B : 10^{-3} / a.r. ;
- Etats Ca à E : 10^{-3} / a.r.

S12 : Rupture de tube(s) dans le condenseur ou le "gas-cooler" du dégazeur

Le scénario S12 correspond à une rupture de tube(s) dans le condenseur ou le "gas-cooler" du dégazeur. Le scénario est étudié dans les états A à Ca3 (GMPP en service) et dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Les pompes primaires sont à l'arrêt (suite à une perte totale des alimentations électriques externes dans les états où au moins une GMPP est en fonctionnement, ou normalement arrêtés dans les autres états). Lorsque le dégazeur est en service, l'homogénéisation du fluide primaire n'est pas assurée. La rupture de tube(s) dans ses échangeurs transfère de l'eau provenant du RRI dans le RCV. Des bouchons d'eau claire se génèrent dans chaque pompe primaire au travers de l'injection au joint n° 1 et sur les branches froides n° 2 et n° 4. Les bouchons seront propulsés vers le coeur au redémarrage des pompes primaires.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Tous états : le by-pass automatique du dégazeur ;
- Tous états : la protection anti-dilution d'isolement de la ligne d'aspersion du RCV et de basculement sur l'IRWST.

La fréquence du scénario "S12 : Rupture de tube(s) dans le condenseur ou le « gas cooler » du dégazeur" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^3 m³ et traversant le coeur est de :

- Etats A à Ca3 : 10^3 / a.r. ;
- Etats Ca4 à E : 10^3 / a.r.

S17 : Résidu d'eau claire dans le circuit RCV, après maintenance

Le scénario S17 correspond à la présence d'eau claire dans le RCV, après une intervention de maintenance sur ce circuit. Le scénario est étudié dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Après des opérations de maintenance ou un remplacement de composants sur le système RCV, un risque de dilution peut apparaître si l'eau utilisée n'est pas assez borée lors de la fermeture du circuit. L'eau est alors injectée dans le primaire au redémarrage des pompes primaires. Un bouchon est généré dans chaque pompe primaire au travers de l'injection au joint n°1 et sur les branches froides n°2 et n°4. Les bouchons seront propulsés vers le coeur au redémarrage des pompes primaires.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Etats Ca4 à E : la procédure de maintenance interdisant/limitant l'utilisation d'eau claire ;
- Etats Ca4 à E : la protection anti-dilution d'isolement de la ligne d'aspersion du RCV et de basculement sur l'IRWST.

La fréquence du scénario "S17 : Résidu d'eau claire dans le circuit RCV, après maintenance" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^3 m³ et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : 10^3 / a.r.

2.3.4. Dilution provenant du RIS

S18 : Rupture de tube(s) de l'échangeur RIS-RA

Le scénario S18 correspond à une rupture de tube(s) de l'échangeur RIS-RA. Le scénario est étudié dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Les pompes primaires sont à l'arrêt. Lorsque la pression du RRI devient supérieure à celle du RIS, dans le(s) train(s) RIS-RA en stand-by ou en cas d'arrêt intempestif des pompes RIS, l'échec de l'isolement côté RRI de l'échangeur RIS-RA cumulé à la rupture de tube(s) de ce dernier, entraîne de l'eau claire du RRI dans le train RIS affecté, générant un bouchon d'eau claire. Les bouchons seront propulsés vers le coeur si les pompes RIS-RA des trains affectés sont démarrées avant les pompes primaires.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Etats Ca4 à E : la détection automatique de l'échec de l'isolement côté RRI de l'échangeur RIS-RA, par une alarme ;
- Etats Ca4 à E : la procédure de redémarrage des pompes RIS-RA sur le débit nul.

La fréquence du scénario "S18 : Rupture de tube(s) de l'échangeur RIS-RA" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^3 m³ et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : 10^3 / a.r.

S19 : Rupture de tube(s) de l'échangeur des pompes RIS-RA

Le scénario S19 correspond à une rupture de tube(s) de l'échangeur du refroidissement des pompes RIS-RA. Le scénario est étudié dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Les pompes primaires sont à l'arrêt. La conception des pompes RIS-RA prévoit un refroidissement par le RRI. Lorsque le RRA n'est pas connecté et que la pression du RRI devient supérieure à celle du RIS dans le(s) train(s) RIS-RA en stand-by, la défaillance de ce refroidissement entraîne une brèche sur la pompe RIS-RA. Si une fuite apparaît, en cas d'échec de l'isolement côté RRI de l'échangeur de la pompe RIS-RA cumulé à la rupture de tube(s) de ce dernier, l'eau claire du RRI est envoyée dans le train RIS-RA affecté, générant un bouchon d'eau claire. Les bouchons seront propulsés vers le coeur si les pompes RIS-RA des trains affectés sont démarrées avant les pompes primaires.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Etats Ca4 à E : l'isolement automatique côté RRI de l'échangeur des pompes RIS-RA ;
- Etats Ca4 à E : la procédure de redémarrage des pompes RIS-RA sur le débit nul.

La fréquence du scénario "S19 : Rupture de tube(s) de l'échangeur des pompes RIS-RA" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^{-4} m³ et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : 10^{-4} / a.r.

S20 : Fuite du circuit RCP (pressurisé) dans le circuit RIS-RA

Le scénario S20 correspond à une fuite du RCP dans le RIS-RA, dans un état où la Cb est inférieure à la Cb d'arrêt. Le scénario est étudié dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Le RCP est pressurisé à une Cb inférieure à celle des états d'arrêt. Une fuite sur les organes d'isolement des lignes de décharge du RIS-RA, génère une alarme. La non détection de la fuite par les opérateurs, peut conduire à la formation d'un bouchon d'eau à une Cb inférieure à la Cb d'arrêt dans les files RIS-RA. Dans les états d'arrêt, le redémarrage d'une file RIS-RA affectée transfère un bouchon d'eau à la Cb trop faible, dans le primaire.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Etats Ca4 à E : la détection automatique de fuites sur les organes d'isolement des lignes de décharge du RIS-RA, par des alarmes ;
- Etats Ca4 à E : la procédure de redémarrage des pompes RIS-RA sur le débit nul.

La fréquence du scénario "S20 : Fuite du circuit RCP (pressurisé) dans le circuit RIS-RA" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^{-4} m³ et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : 10^{-4} / a.r.

S24 : Résidu d'eau claire dans le circuit RIS-RA, après maintenance

Le scénario S24 correspond à la présence d'eau claire dans le RIS-RA après une intervention de maintenance sur ce circuit. Le scénario est étudié dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Après des opérations de maintenance ou un remplacement de composants sur le système RIS-RA, un risque de dilution peut apparaître si l'eau utilisée n'est pas assez borée lors de la fermeture du circuit. Cette eau peut rester dans le circuit et, si les pompes RIS-RA sont mises en service alors qu'il n'y a pas de circulation, un bouchon d'eau est alors injecté via la charge dans le primaire.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Etats Ca4 à E : la procédure de maintenance interdisant/limitant l'utilisation d'eau claire ;
- Etats Ca4 à E : la procédure de redémarrage des pompes RIS-RA sur le débit nul.

La fréquence du scénario "S24 : Résidu d'eau claire dans le circuit RIS-RA, après maintenance" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^3 m³ et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : 10^3 / a.r.

S25 : Fuite du circuit RCP (pressurisé) dans le circuit RIS-MP

Le scénario S25 correspond à une fuite du RCP dans le RIS-MP, dans un état où la Cb est inférieure à la Cb d'arrêt. Le scénario est étudié dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Le RCP est pressurisé à une Cb inférieure à celle des états d'arrêt. Une fuite sur les organes d'isolement des lignes de décharge du RIS-MP, génère une alarme. La non détection de la fuite par les opérateurs, peut conduire à la formation d'un bouchon d'eau à une Cb inférieure à la Cb d'arrêt dans les files RIS-MP. Dans les états d'arrêt, le redémarrage d'une file RIS-MP affectée transfère un bouchon d'eau à la Cb trop faible, dans le primaire.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Etats Ca4 à E : la détection automatique de fuites sur les organes d'isolement des lignes de décharge du RIS-MP, par des alarmes.

La fréquence du scénario "S25 : Fuite du circuit RCP (pressurisé) dans le circuit RIS-MP" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^3 m³ et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : 10^3 / a.r.

S27 : Résidu d'eau claire dans le circuit RIS-MP, après maintenance

Le scénario S27 correspond à la présence d'eau claire dans le RIS-MP après une intervention de maintenance sur ce circuit. Le scénario est étudié dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Après des opérations de maintenance ou un remplacement de composants sur le système RIS-MP, un risque de dilution peut apparaître si l'eau utilisée n'est pas assez borée lors de la fermeture du circuit. Cette eau peut rester dans le circuit et, si les pompes RIS-MP sont mises en service alors qu'il n'y a pas de circulation, un bouchon d'eau est alors injecté dans le primaire.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Etats Ca4 à E : la procédure de maintenance interdisant/limitant l'utilisation d'eau claire ;
- Etats Ca4 à E : la requalification des pompes RIS-MP sur l'IRWST.

La fréquence du scénario "S27 : Résidu d'eau claire dans le circuit RIS-MP, après maintenance" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^3 m³ et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : 10^3 / a.r.

S28 : Appoint des accumulateurs RIS par de l'eau à la Cb erronée

Le scénario S28 correspond au remplissage des accumulateurs RIS par de l'eau diluée. Le scénario est étudié dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Les pompes RIS-MP assurent le remplissage des accumulateurs RIS avec l'eau de l'IRWST. La Cb de l'eau utilisée pour remplir les accumulateurs RIS est inférieure au requis, dans les cas suivants :

- Une fuite du circuit RCP (pressurisé) dans le circuit RIS-MP ;
- Une dilution de l'IRWST ;
- Un résidu d'eau claire dans le circuit RIS-MP, après maintenance.

Ces fonctionnements qui conduisent à une Cb erronée non détectée par les contrôles de surveillance peuvent provoquer l'apparition d'un bouchon d'eau claire dans les accumulateurs RIS. Les bouchons seront propulsés vers le coeur en cas de sollicitation des accumulateurs RIS.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Etats Ca4 à E : le contrôle de la Cb des accumulateurs RIS.

La fréquence du scénario "S28 : Appoint des accumulateurs RIS par de l'eau à la Cb erronée" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 1 m^3 et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : 10^{-6} / a.r.

S29 : Fuite du circuit RCP (pressurisé) dans les accumulateurs RIS

Le scénario S29 correspond à une fuite du RCP dans les lignes de décharge des accumulateurs RIS, dans un état où la Cb est inférieure à la Cb d'arrêt. Le scénario est étudié dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Le RCP est pressurisé à une Cb inférieure à celle des états d'arrêt. Une fuite sur les organes d'isolement des lignes de décharge des accumulateurs RIS, génère une alarme. La non détection de la fuite par les opérateurs, peut conduire à la formation d'un bouchon d'eau à une Cb inférieure à la Cb d'arrêt dans les files de décharge des accumulateurs RIS. Dans les états d'arrêt, la sollicitation d'un accumulateur RIS affecté transfère un bouchon d'eau à la Cb trop faible, dans le primaire.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Etats Ca4 à E : la détection automatique de fuites sur les organes d'isolement des lignes de décharge des accumulateurs RIS, par des alarmes.

La fréquence du scénario "S29 : Fuite du circuit RCP (pressurisé) dans le circuit RIS-MP" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 1 m^3 et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : 10^{-6} / a.r.

S30 : Résidu d'eau claire dans les accumulateurs RIS, après maintenance

Le scénario S30 correspond à la présence d'eau claire dans les accumulateurs RIS après une intervention de maintenance. Le scénario est étudié dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Après des opérations de maintenance ou un remplacement de composants sur les accumulateurs RIS, un risque de dilution peut apparaître si l'eau utilisée n'est pas assez borée lors de leur fermeture. Cette eau peut rester dans les accumulateurs et être injectée dans le primaire si ces derniers sont sollicités.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Etats Ca4 à E : la procédure de maintenance interdisant/limitant l'utilisation d'eau claire ;
- Etats Ca4 à E : le contrôle de la Cb des accumulateurs RIS.

La fréquence du scénario "S30 : Résidu d'eau claire dans les accumulateurs RIS, après maintenance" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^{-4} m³ et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : 10^{-4} / a.r.

2.3.5. Dilution provenant du RBS

S31 : Appoint des bâches RBS par de l'eau à la Cb erronée

Le scénario S31 correspond au remplissage des bâches RBS par de l'eau diluée. Le scénario est étudié dans tous les états A à E.

Le remplissage des bâches RBS est assuré par transfert d'eau depuis le réservoir de mélange du REA. Dans le cas d'une dilution dans ces dernières, non détectée par les contrôles de surveillance (cas « 2 » du scénario S03), la Cb des bâches RBS est erronée. Un bouchon d'eau claire sera propulsé vers le coeur en cas de sollicitation du RBS.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Tous états : le contrôle de la Cb du réservoir de mélange du REA ;
- Tous états : le contrôle de la Cb des bâches RBS.

La fréquence du scénario "S31 : Appoint des bâches RBS par de l'eau à la Cb erronée" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^{-4} m³ et traversant le coeur est de :

- Tous états : 10^{-4} / a.r.

S34 : Résidu d'eau claire dans le circuit RBS, après maintenance

Le scénario S34 correspond à la présence d'eau claire dans le RBS après une intervention de maintenance sur ce circuit. Le scénario est étudié dans les états dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Après des opérations de maintenance ou un remplacement de composants sur le système RBS, un risque de dilution peut apparaître si l'eau utilisée n'est pas assez borée lors de la fermeture du circuit. Cette eau peut rester dans le circuit et, si les pompes RBS sont mises en service alors qu'il n'y a pas de circulation, un bouchon d'eau est alors injecté dans le primaire.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Etats Ca4 à E : la procédure de maintenance interdisant/limitant l'utilisation d'eau claire ;
- Etats Ca4 à E : l'action opérateur de redémarrage des pompes RBS sur le débit nul ;
- Etats Ca4 à E : le contrôle par échantillonnage de la Cb du RBS.

La fréquence du scénario "S34 : Résidu d'eau claire dans le circuit RBS, après maintenance" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^{-4} m³ et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : 10^{-4} / a.r.

2.3.6. Dilution provenant du REN

S37 : Rupture de tubes de l'échangeur REN

Le scénario S37 correspond à une rupture de tube(s) de l'échangeur REN. Le scénario est étudié dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Les pompes primaires sont à l'arrêt. Lorsque la pression du RRI devient supérieure à celle du RCV, la rupture de tube(s) de l'échangeur REN cumulée à l'échec de l'isolement des lignes d'échantillonnage du REN sur le RCV avant connexion du RRA, entraîne de l'eau claire du RRI dans le RCV. Des bouchons se génèrent dans chaque pompe primaire au travers de l'injection au joint n° 1 et sur les branches froides n° 2 et n° 4. Les bouchons seront propulsés vers le coeur au redémarrage des pompes primaires.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Etats Ca4 à E : la détection automatique d'une dilution, par le boremètre REN ;
- Etats Ca4 à E : la procédure d'isolement des lignes d'échantillonnage du REN sur le RCV, avant connexion du RRA.

La fréquence du scénario "S37 : Rupture de tube(s) de l'échangeur REN" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à \square m³ et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : \square / a.r.

2.3.7. Dilution provenant de la Barrière Thermique

S39 : Rupture de tube(s) d'une barrière thermique

Le scénario S39 correspond à une rupture de tube(s) d'une barrière thermique. Le scénario est étudié dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Les pompes primaires sont à l'arrêt. Lorsque la pression du RRI devient supérieure à celle du RCP, l'échec de l'isolement côté RRI de l'échangeur de la barrière thermique, cumulé à la rupture de tube(s) de ce dernier, entraîne de l'eau claire du RRI dans le circuit primaire. Un bouchon se génère dans la boucle primaire du GMPP affecté. Les bouchons seront propulsés vers le coeur au redémarrage des pompes primaires.

La parade mise en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire est :

- Etats Ca4 à E : l'isolement automatique côté RCP en amont et en aval d'une barrière thermique ;
- Etats Ca4 à E : la mise en place d'une condamnation administrative pour l'isolement côté RRI d'une barrière thermique.

La fréquence du scénario "S39 : Rupture de tube (s) d'une barrière thermique" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à \square m³ et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : \square / a.r.

2.3.8. Dilution provenant de l'environnement (ouverture du primaire)

S44 : Résidu d'eau claire dans le circuit RCP, après maintenance

Le scénario S44 correspond à la présence d'eau claire dans le RCP après une intervention de maintenance sur ce circuit. Le scénario est étudié dans les états dans les états Ca4 à E (GMPP normalement arrêtés).

Après des opérations de maintenance ou un remplacement de composants sur le système, un risque de dilution peut apparaître si l'eau utilisée n'est pas assez borée lors de la fermeture du circuit. Cette eau peut rester dans la branche en U et le bouchon d'eau claire est alors injecté au redémarrage du primaire.

Les parades mises en oeuvre pour réduire significativement la formation d'un bouchon d'eau claire sont :

- Etats Ca4 à E : la procédure de maintenance interdisant/limitant l'utilisation d'eau claire ;
- Etats Ca4 à E : la procédure de redémarrage des GMPP.

La fréquence du scénario "S44 : Résidu d'eau claire dans le circuit RCP, après maintenance" conduisant à la formation d'un bouchon d'eau claire supérieur à 10^3 m³ et traversant le coeur est de :

- Etats Ca4 à E : 10^{-6} / a.r.

2.4. SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS DE DILUTIONS HÉTÉROGÈNES EXTERNES

10^{-6}

La fréquence globale de formation du bouchon d'eau claire de taille supérieure à 10^3 m³ est évaluée à 10^{-6} /a. r. Cette fréquence est suffisamment faible pour pouvoir considérer les scénarios de dilution hétérogènes externes comme « pratiquement éliminés ».

Il est à noter que cette valeur représente la fréquence d'un transitoire de réactivité et non la fréquence de fusion du coeur associée, laquelle est encore inférieure.

Les différents conservatismes pris en compte (10^{-6}) permettent de conclure à l'acceptabilité des résultats obtenus.

En conclusion, toutes les caractéristiques de conception et contre-mesures mises en oeuvre permettent de démontrer que le risque d'insertion massive de réactivité dans le coeur suite à une dilution hétérogène externe est « pratiquement éliminé ».

3. FAMILLE "BIPASSE DU CONFINEMENT" (V-LOCA)

Les séquences de fusion du coeur avec bipasse du confinement concernent tous les événements avec fusion du coeur conduisant à établir une liaison directe entre le fluide primaire et l'extérieur de l'enceinte.

Les scénarios analysés dans ce paragraphe concernent les APRP se produisant à l'extérieur de l'enceinte et conduisant ainsi à des bipsasses du confinement.

3.1. CHAMPS ET LIMITE DE L'ÉTUDE

Les séquences d'APRP conduisant à des bipsasses du confinement sont liées aux ruptures sur un système raccordé au circuit primaire et partiellement localisées à l'extérieur de l'enceinte, ce qui peut entraîner un accident de perte de réfrigérant primaire et une vidange de l'IRWST (piscine RIS) à l'extérieur de l'enceinte si la brèche n'est pas isolée.

L'étude effectuée se base d'une part sur l'évaluation de la fréquence d'occurrence de l'événement initiateur conduisant à la brèche, puis d'autre part sur la défaillance des parades existantes, le tout conduisant à un risque de bipasse du confinement.

Les ruptures à l'extérieur de l'enceinte compensables par le débit de charge du contrôle chimique et volumétrique ne sont pas traitées dans l'évaluation. On ne considère donc que les cas des brèches correspondant à un débit de fuite supérieur à 10^3 t/h, en considérant l'indisponibilité d'une pompe RCV pour maintenance.

Les événements analysés et quantifiés concernent les circuits RCV, RIS, RBS, REN, RPE, EVU (dans le cas où l'intégrité du RCP n'est plus assurée), le réservoir RDP, le circuit RRI via les barrières thermiques des motopompes primaires.

Les scénarios suivants, qui présentent un déséquilibre important entre le débit de charge et le débit de décharge du RCV sont également étudiés :

- Ouverture totale de la station de décompression du RCV ;
- Brèche de la barrière thermique de la GMPP provoquant une fuite dans le RRI (sans brèche).

Les scénarios de bypasses suivants ne sont pas analysés dans ce paragraphe (voir les § 13.1.3 et 13.1.4 de la section 18.1.1, et le sous-chapitre 19.2, pour le cumul RTV/RTGV) :

- RTGV superposée à une rupture de tuyauterie vapeur ;
- RTGV avec vanne de sûreté ou de décharge bloquée en position ouverte ;
- Scénarios découlant de séquences d'accidents graves.

3.2. DESCRIPTION DES SCÉNARIOS DE BIPASSE DU CONFINEMENT

3.2.1. Bypass du confinement sur le circuit RCV

3.2.1.1. Etats considérés

Les initiateurs étudiés sont analysés dans les états A à Ca.

En effet dans les états Cb à E, la pression primaire est environ égale à 1 bar, il n'y a donc pas de risques d'APRP conduisant à un bypass du confinement dans ces états.

3.2.1.2. Scénarios de bypasses

RCV 1 : Rupture de tube(s) de l'échangeur Haute Pression du RCV

Le scénario RCV 1 (états A à Ca), correspond à la rupture de 1 ou 2 tubes d'échangeur (états A à Ca), suivie de la défaillance à la fermeture des vannes motorisées [1]. La rupture d'1 ou 2 tubes de l'échangeur HP provoque une fuite de l'échangeur RCV vers le RRI. La conséquence directe de cette fuite est un débit inverse du primaire vers l'extérieur de l'enceinte via la ligne de décharge et le RRI. La rupture d'un seul tube n'est pas censée conduire à un V-LOCA parce que le débit maximum de la fuite ([1] t/h) est compensable par une pompe de charge.

La rupture est détectée par :

- Mesure de niveau dans la bache RRI (indication) ;
- Mesure de débit coté RRI (indication) ;
- Mesure de température coté RRI (alarme) ;
- Mesure d'activité pour arrêter les pompes RRI (alarme) ;
- Mesure de niveau dans le pressuriseur ;
- Mesure de pression dans le pressuriseur.

La ligne de décharge est isolée automatiquement sur « niveau pressu Min », « pression pressuriseur Min » ou « bas delta Tsat », par la fermeture des vannes [1]. La vanne [1] permet d'isoler l'échangeur suite à l'émission du signal d'« activité Max échangeur HP ».

Coté RRI les vannes d'isolement de confinement en amont et en aval de l'échangeur HP se ferment suite à la détection d'« activité max ». En cas de défaillance de l'automatisme, l'opérateur dispose d'un temps suffisant pour isoler l'échangeur en amont via les vannes [1] (les alarmes et indications citées ci-dessus lui permettent de détecter la fuite suite à la rupture de tubes).

La fréquence de l'initiateur RCV1 est de [1] / a.r.

RCV 2 : Ouverture intempestive de la station de décompression

Le scénario RCV2 (états A à Ca), correspond à l'ouverture intempestive de la station de décompression (□), suivie de la défaillance à la fermeture des vannes d'isolement de la ligne de décharge RCV (□) et de la défaillance de l'isolement de l'échangeur (vannes □). et de la défaillance de l'isolement du confinement (vannes □).

L'ouverture intempestive de la station de décompression est détectée par :

- La pression et de la température en aval de la station de décompression ;
- Une mesure de niveau pressuriseur.

La brèche sur la ligne de décharge est détectée par :

- La pression et de la température sur la ligne de décharge ;
- Une consigne initiée sur le niveau d'eau dans le VCT < min ;
- Le niveau puisard (système de purge) > max dans le bâtiment combustible.

La ligne de décharge est isolée automatiquement sur « niveau pressuriseur Min » par la fermeture des vannes □ qui se ferment aussi sur « pression pressuriseur Min » et « bas delta P sat ». Les échangeurs HP sont isolés sur « niveau pressuriseur Min » par la fermeture des vannes □.

En cas de défaillance de l'automatisme, l'opérateur dispose d'un temps suffisant pour isoler l'échangeur en amont (vanne □), les alarmes et indications citées ci-dessus lui permettant de détecter la fuite suite à la rupture de tubes.

La fréquence de l'initiateur RCV2 est de □ / a.r.

RCV 3 et RCV 5 : Rupture ou fuite de la tuyauterie de la ligne de charge RCV en aval de la vanne de contrôle avec échec de l'isolement du RCP

Le scénario RCV 3 (états A à Ca), correspond à la fuite ou rupture de la tuyauterie de la ligne de charge RCV hors du confinement en aval de la vanne de contrôle □, suivie de la défaillance à la fermeture des clapets □, et de la défaillance à la fermeture de la vanne motorisée □. Cela génère un débit inverse du RCP vers la ligne de charge.

Le scénario RCV 5 (états A à Ca), correspond à la fuite ou rupture de la tuyauterie de la ligne de charge RCV, en amont de la vanne de contrôle □ jusqu'aux clapets de recirculation automatique □, suivie des mêmes défaillances que celles de RCV 3.

Pour ces deux scénarios, la fuite / rupture est détectée par :

- L'arrêt des pompes de charge, dans le cadre d'une rupture ;
- Le niveau puisard (système de purge) > max dans le bâtiment combustible ;
- Une mesure d'activité dans la gaine d'extraction de l'air du bâtiment réacteur ;
- Une mesure de niveau pressuriseur.

La fréquence des initiateurs RCV3&RCV5 est de □ / a.r. RCV 3 représente □% de la fréquence totale et RCV 5 en représente □%.

RCV 4 et RCV 6 : Rupture ou fuite de la tuyauterie de la ligne de charge RCV en aval de la vanne de contrôle avec échec de l'isolement de la ligne d'injection aux joints

Le scénario RCV 4 (états A à Ca), correspond à la rupture de la tuyauterie de la ligne de charge RCV en aval de la vanne de contrôle □, suivie de la défaillance à la fermeture des clapets □ à l'intérieur du

confinement et [] et de la défaillance à la fermeture des clapets [], en amont de la moto pompe primaire.

Le scénario RCV 6 (états A à Ca), correspond à la rupture en amont de la vanne de contrôle [] jusqu'au clapet de recirculation automatique [] sur la ligne de charge et jusqu'au confinement sur la ligne d'injection des joints, suivie de la défaillance à la fermeture du clapet d'isolement du confinement [] et des deux clapets [].

Pour ces deux scénarios, la fuite / rupture est détectée par :

- L'arrêt des pompes de charge, dans le cadre d'une rupture ;
- Le niveau puisard (système de purge) > max dans le bâtiment combustible ;
- Une mesure d'activité dans la gaine d'extraction de l'air du bâtiment réacteur ;
- Une mesure du débit et de la pression dans la ligne de charge.

De plus, en cas de défaillance de l'isolement automatique du confinement, l'opérateur dispose d'un temps suffisant pour fermer la vanne de contrôle motorisée [] ou la vanne d'isolement motorisée [].

La fréquence des initiateurs RCV4&RCV6 est de [] / a.r.

RCV 7 : Rupture ou fuite de la tuyauterie de la ligne de charge RCV en aval de la vanne de contrôle avec bipasse de l'échangeur régénérateur

Le scénario RCV 7 (états A à Ca), correspond à la rupture de la tuyauterie de la ligne de charge hors du confinement, concomitante à un bipasse de l'échangeur régénérateur, suivie de la défaillance à la fermeture des vannes d'isolement de la ligne de décharge ([]) et du clapet d'isolement du confinement ([]).

La fuite / rupture est détectée par :

- L'arrêt des pompes de charge, dans le cadre d'une rupture ;
- Le niveau puisard (système de purge) > max dans le bâtiment combustible ;
- Une mesure d'activité dans la gaine d'extraction de l'air du bâtiment réacteur ;
- Une mesure de niveau pressuriseur.

Le bipasse de l'échangeur n'est pas détectable.

La ligne de décharge est isolée par la fermeture des vannes [] sur « niveau pressuriseur Min » ou « pression pressuriseur Min » ou « bas delta P sat ».

La fréquence de l'initiateur RCV7 est de [] / a.r.

3.2.2. Bipasse du confinement sur le système RIS

3.2.2.1. Etats considérés

Les initiateurs étudiés sont analysés dans les états A et B ou A à Ca.

Pour les lignes ISMP, la pression primaire est environ égale à [] bar, il n'y a donc pas de risques d'APRP conduisant à un bipasse du confinement dans les états Cb à E.

3.2.2.2. Scénarios de bippasses

RIS 1 et RIS 3 : Fuite interne du clapet d'isolement RIS 1560 VP

Le scénario RIS 1 (états A à Ca), correspond à la fuite interne (ou la non fermeture après l'activation du RBS) du clapet d'isolement [1], suivie de la rupture interne du clapet [1] et de la défaillance à la fermeture ou rupture du clapet [1], conduisant à la rupture de la ligne ISMP.

Le scénario RIS 3 (états A et B), correspond à la fuite interne (ou la non fermeture après l'activation du RBS) du clapet d'isolement [1], suivie de la rupture interne du clapet [1] et de la défaillance à la fermeture ou rupture du clapet [1], conduisant à la rupture de la ligne ISBP.

La fuite interne des vannes est détectée par :

- Une mesure de pression entre les vannes d'isolement sur la branche froide du RIS (indication – alarme) ;
- Bas niveau dans l'accumulateur du train concerné ;
- Basse pression dans l'accumulateur du train concerné.

Si le premier clapet d'isolement fuit, le délai nécessaire à l'opérateur pour dépressuriser et refroidir le réacteur avant la fuite interne du second clapet et la défaillance à la fermeture de la vanne [1] est suffisant pour détecter la fuite du premier organe (l'opérateur étant averti par les alarmes citées ci-dessus). Le temps passé en état dégradé est court.

Un débit inverse de la branche froide à travers les pompes peut induire une brèche sur les lignes RIS-BP et RIS-MP.

La fréquence des initiateurs RIS1&RIS3 est de [1] / a.r.

RIS 2 : Mise en service du RIS-MP, suivi de son arrêt et de l'échec de son isolement

Le scénario RIS 2 (états A à Ca), correspond à la mise en service de l'ISMP suivie de l'arrêt des pompes RIS-MP, cumulée à la défaillance des clapets d'isolement [1]. En cas d'une défaillance de [1], les clapets [1] se ferment pour isoler la fuite.

Le refus de fermeture du clapet [1] est détecté par une hausse de pression dans la ligne d'injection.

La fréquence de l'initiateur RIS2 est de [1] / a.r.

RIS 4 : Rupture sur les lignes d'injection RIS-BP lors de la mise en service du RIS-MP

Le scénario RIS 4 (états A à Ca), correspond à une mise en service de l'ISMP, suivie de la rupture interne du clapet [1] qui sépare les lignes RIS-MP et RIS-BP, et de la défaillance du clapet [1], provoquant une rupture de la tuyauterie à l'extérieur du confinement. Bien que le fluide primaire ne débite pas vers la brèche, ce scénario entraîne une vidange de l'IRWST. L'opérateur peut fermer les vannes [1] depuis la salle de commandes pour empêcher la vidange de l'IRWST vers la ligne d'aspiration de l'ISBP. Cette action est réalisée dès l'atteinte du niveau haut dans les puisards.

La fréquence de l'initiateur RIS4 est de [1] / a.r.

RIS 5 et RIS 6 : Rupture de la ligne d'injection branche chaude par défaillance de l'isolement des vannes [1] et [1]

Le scénario RIS 5 (états A et B), correspond à la fuite interne à travers [1], suivie de la mauvaise configuration ou de la fuite interne des vannes motorisées [1], ou de la défaillance à l'ouverture de la soupape [1]. Ces défaillances conduisent à la rupture du RIS-RA en dehors du confinement.

Le scénario RIS 6 (états A et B), correspond à la mauvaise configuration ou rupture / fuite interne de la vanne [1], suivie de la mauvaise configuration ou rupture / fuite interne de la vanne [1] et de la rupture de la tuyauterie entre [1] due soit à une défaillance intrinsèque soit aux contraintes thermiques causées sur la tuyauterie par la circulation du liquide primaire.

L'oubli ouvert d'une des vannes motorisées est détecté par :

- Une alarme de position sur la vanne ;
- Les alarmes suivantes, qui apparaîtront après la défaillance des vannes :
 - Pression élevée sur les vannes d'isolement RRA (□) ;
 - Pression élevée sur les vannes d'isolement RIS (□) ;
 - Bas niveau dans l'accumulateur du train concerné ;
 - Basse pression dans l'accumulateur du train concerné.

La fréquence des initiateurs RIS5&RIS6 est de □ / a.r.

RIS 7 et RIS 8 : Rupture sur les lignes d'injection du RIS non isolées, suite à une surpression du RCP en mode RRA

Le scénario RIS 7 (états Ca3– Ca4), correspond à l'occurrence d'une surpression, due à une expansion du fluide primaire lorsque le RCP est monophasique (4 trains en mode RIS-RA), suivie de la défaillance à l'ouverture de la soupape de sûreté □, et de la soupape du RCP (défaillance électrique, en fonctionnement à l'arrêt à froid), et de la défaillance de la fermeture automatique des vannes □ ou de la non fermeture des clapets □.

Le scénario RIS 8 (états Ca et Cb), correspond à l'occurrence d'une surpression, due à un inventaire primaire trop important, suivie de la défaillance à l'ouverture des soupapes de sûreté (□) et de l'échec de l'isolement du RIS par les vannes □.

La fréquence de cet initiateur est de □ / a.r.

Famille « Brèche extérieur enceinte sur ISBP/RRA » dans les états d'arrêt avec échec de l'isolement

Le risque de fusion lié à la famille « brèche extérieur enceinte sur ISBP/RA » est étudié et détaillé dans le paragraphe 13.1.1 de la section 18.1.1.

Cette famille couvre les initiateurs suivants :

- Petite brèche extérieur enceinte sur ISBP-RA (< □ cm²) en états C et D : □ /a.r. ;
- Brèche extérieur enceinte sur ISBP-RA (> □ cm²) en états C et D : □ /a.r.

L'analyse des brèches en état d'arrêt indique que le risque principal est dû à la défaillance de l'injection de l'ISMP. Dans certains états (de Ca2 à Ca4), les trains ISBP ne sont pas valorisables pour l'injection, ceux-ci étant en mode RRA. Dans les autres cas, ils peuvent être utilisés, mais suite à un démarrage manuel (P12 validé, pas de démarrage automatique des pompes ISBP). La contribution prépondérante provient de la perte du système RRI pour évacuer la puissance résiduelle et refroidir les pompes d'injection de sécurité.

La fréquence de fusion du coeur pour cette famille est de □ /a.r.

Néanmoins, vis-à-vis des risques de rejets précoces devant être pratiquement éliminés, seules les brèches extérieur enceinte avec échec de l'isolement sont concernées. Il s'agit des séquences des initiateurs de l'EPS N1 dont les conséquences sont ISS1 (Interfacing Systeme Shutdown).

La fréquence de fusion du coeur pour les brèches extérieur enceinte sur ISBP/RRA avec échec de l'isolement est de □ /a.r.

3.2.3. Bypass du confinement sur le système RBS

3.2.3.1. Etats considérés

Les initiateurs étudiés sont analysés dans les états A à Ca.

En effet dans les états Cb à E, la pression primaire est environ égale à 16 bar, il n'y a donc pas de risques d'APRP conduisant à un bypass du confinement dans ces états.

En fonctionnement normal, les pompes RBS sont à l'arrêt.

3.2.3.2. Scénarios de bypasses

RBS 1 et RBS 2 : Rupture sur tuyauteries RBS suite à la défaillance du clapet 1 et de l'isolement du RBS

Le scénario RBS 1 (états A à Ca), correspond à la fuite interne du clapet 1 ou à sa non refermeture (suite à une injection de sûreté), suivie de l'échec de l'isolement de la vanne 1 et de la défaillance à la fermeture du clapets 1 et des clapets de retenue des pompes RBS. Le débit inverse ainsi créé, induit une brèche sur la tuyauterie RBS en amont de la pompe.

Le scénario RBS 2 (états A à Ca), correspond à la fuite interne du clapet 1 ou à sa non refermeture (suite à une injection de sûreté), suivie de l'échec de l'isolement de la vanne 1 et de la défaillance à la fermeture du clapets 1. Le débit inverse ainsi créé, induit une brèche sur la tuyauterie RBS en aval de la pompe, à l'extérieur du confinement.

La fuite interne du clapet 1 est détectée par une alarme de pression élevée entre les vannes d'isolement RRA et une alarme de pression élevée entre les vannes d'isolement sur la branche froide du RIS.

La fréquence des initiateurs RBS1&RBS2 est de 1 / a.r.

RBS 3 et RBS 4 : Défaillance lorsque le RBS est en fonctionnement

Le scénario RBS 3 (états A à Ca) correspond à la mise en service du RBS (normale ou intempestive) suivie de son arrêt, cumulée à la défaillance à la fermeture des clapets 1 et de la défaillance des vannes 1 et des clapets de retenue des pompes RBS. Ces défaillances conduisent à une rupture de la tuyauterie en amont de la pompe RBS.

Le scénario RBS 4 (états A à Ca), correspond à la mise en service du RBS (normale ou intempestive) suivie de son arrêt, cumulée à la défaillance à la fermeture des clapets 1 et de la défaillance des vannes 1. Ces défaillances conduisent à une rupture de la tuyauterie en aval de la pompe RBS, à l'extérieur du confinement.

La défaillance de la vanne 1 est détectée par une alarme de pression élevée entre les vannes d'isolement RRA et une alarme de pression élevée entre les vannes d'isolement sur la branche froide du RIS.

La fréquence des initiateurs RBS3&RBS4 est de 1 / a.r.

3.2.4. Bypass du confinement sur le système RRI

3.2.4.1. Etats considérés

Les initiateurs étudiés sont analysés dans les états A à Ca.

En effet, les pompes primaires étant arrêtées de l'état Ca à l'état E, les barrières thermiques sont alors isolées.

3.2.4.2. Scénarios de bypasses

RRI 1 : Rupture de tubes en aval de la barrière thermique

Le scénario RRI 1 (états A à Ca), correspond à une rupture de tube de la barrière thermique suivie de l'échec de l'isolement automatique de la barrière thermique par les vannes [] et de l'isolement manuel du RRI, conduisant à une rupture de la tuyauterie RRI en aval de la BT, à l'extérieur du confinement.

La rupture est détectée par :

- Une mesure de pression en aval de la BT côté RRI ;
- Une mesure de débit en aval de la BT côté RRI ;
- Une mesure de niveau sur la bache RRI ;
- Une mesure d'activité.

La fréquence de l'initiateur RRI1 est de [] / a.r.

RRI 2 : Rupture de tubes en amont de la barrière thermique

Le scénario RRI 2 (états A à Ca), correspond à une rupture de tube de la barrière thermique suivie de l'échec de l'isolement automatique de la barrière thermique par les vannes [], conduisant à une rupture de la tuyauterie RRI en amont de la BT, à l'extérieur du confinement.

La rupture est détectée par les signaux cités pour le scénario RRI 1 mais, par conservatisme, l'isolement manuel n'est pas valorisé.

La fréquence de l'initiateur RRI2 est de [] / a.r.

3.2.5. Bypass du confinement sur le système EVU

3.2.5.1. Etats considérés

Les APRP conduisant à un bypass du confinement sur le système EVU sont considérés dans tous les états.

3.2.5.2. Scénarios de bypasses

EVU 2 et EVU 3 : Fuite ou rupture de tuyauterie EVU lors de sa mise en service durant un accident

Les scénarios EVU 2 et EVU 3 (tous états), correspondent aux séquences accidentelles nécessitant l'utilisation de l'EVU pour refroidir l'IRWST, suivi d'une fuite ou d'une rupture de tuyauterie sur la chaîne principale et de la défaillance à la fermeture de la vanne motorisée d'isolement enceinte ([]), qui mènent à la vidange de l'IRSWT en dehors de l'enceinte.

La détection de la fuite / rupture est réalisée par une alarme de mesure de niveau sur le puisard du bâtiment de sauvegarde.

La fréquence des initiateurs EVU2&EVU3 est de [] / a.r.

3.2.6. Bypass du confinement sur les systèmes REN / RPE / RDP

Les ruptures à l'extérieur de l'enceinte analysées sur ces systèmes peuvent être compensées par le débit de charge du contrôle chimique et volumétrique.

3.3. SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS DE BIPASSE DU CONFINEMENT

La fréquence globale des scénarios d'APRP conduisant à un bypass du confinement est évaluée à 10^{-8} /a.r.

Les différents conservatismes pris en compte dans les analyses fonctionnelles et les quantifications des initiateurs potentiels de bypass étudiés dans ce chapitre, permettent de conclure à l'acceptabilité des résultats obtenus.

En conclusion, toutes les caractéristiques de conception et contre-mesures mises en oeuvre permettent de démontrer que le risque d'APRP conduisant à un bypass du confinement est « pratiquement éliminé ».

4. SYNTHÈSE

Le tableau suivant présente les fréquences des initiateurs, par famille :

10^{-8}

5. CONCLUSIONS

Conformément à l'objectif énoncé en introduction, l'ensemble des dispositions constructives retenues à la conception sur EPR valorisées dans les analyses présentées dans le présent chapitre permet de conclure que les différents événements susceptibles de conduire à des rejets précoces importants relatifs à des accidents de dilutions hétérogènes externes ou de bypass du confinement sont "pratiquement éliminés".

La fréquence d'occurrence de ces familles d'accident est conforme aux cibles probabilistes présentées au sous-chapitre 18.0, la contribution au risque de rejets importants et précoces de chaque famille étant équilibrée, avec une fréquence cible de 10^{-08} /a.r.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 18

SECTION 1.3

PAGE 25/25

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DE RÉFÉRENCES

[1] NEPS-F DC 398 E — « Probabilistic Study of Heterogeneous Boron Dilution Scenarii »

[2] EPSE DC 833 H — « EPR - Probabilistic analysis of accident sequences caused by interfacing Loss Of Coolant Accident »



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 18

SECTION 1.4

PAGE 1/11

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

| | |
|--|----------|
| .18.1.4 SYNTHÈSE DE L'EPS DE NIVEAU N1 | 3 |
| 1. INTRODUCTION | 3 |
| 2. ÉVALUATION GLOBALE DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR DE L'EPS N1 | 3 |
| 3. RÉPARTITION DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR DE L'EPS N1, PAR ÉTAT STANDARD DU RÉACTEUR | 4 |
| 4. CONCLUSIONS | 4 |
| LISTE DES RÉFÉRENCES. | 5 |

TABLEAUX :

| | |
|---|-----------|
| TAB-18.1.4.1 RÉPARTITION DU RISQUE DE FUSION DE CŒUR DE L'EPS N1, PAR FAMILLES D'INITIATEURS POUR LE BÂTIMENT RÉACTEUR | 6 |
| TAB-18.1.4.2 RÉPARTITION DU RISQUE DE DÉCOUVREMENT DU COMBUSTIBLE DE L'EPS N1, PAR FAMILLES D'INITIATEURS POUR LE BATIMENT COMBUSTIBLE | 7 |
| TAB-18.1.4.3 RÉPARTITION DU RISQUE D'ENTRÉE EN ÉBULLITION DE CŒUR DE L'EPS N1, PAR FAMILLES D'INITIATEURS POUR LE BATIMENT COMBUSTIBLE | 8 |
| TAB-18.1.4.4 RÉPARTITION DU RISQUE DE FUSION DE CŒUR DU BÂTIMENT RÉACTEUR PAR ÉTATS STANDARDS DU RÉACTEUR..... | 9 |
| TAB-18.1.4.5 RÉPARTITION DU RISQUE DE DÉCOUVREMENT DU COMBUSTIBLE DU BÂTIMENT COMBUSTIBLE PAR ÉTATS STANDARDS DU RÉACTEUR..... | 10 |
| TAB-18.1.4.6 RÉPARTITION DU RISQUE D'ENTRÉE EN ÉBULLITION DE CŒUR DU BÂTIMENT COMBUSTIBLE PAR ÉTATS STANDARDS DU RÉACTEUR | 11 |

.18.1.4 SYNTHÈSE DE L'EPS DE NIVEAU N1

1. INTRODUCTION

Ce chapitre dresse le bilan de l'évaluation globale du risque de fusion du cœur des Etudes Probabilistes de Sûreté de niveau 1 du Bâtiment Réacteur (EPS N1 du BR) et du risque de découverture du combustible et d'entrée en ébullition des Etudes Probabilistes de Sûreté de niveau 1 du Bâtiment Combustible (EPS N1 du BK).

Il regroupe les résultats présentés dans les sections 18.1.1 et 18.1.3, respectivement relatives aux résultats de l'EPS N1 du BR, du BK et aux résultats des familles d'initiateurs pratiquement éliminés de dilutions hétérogènes externes et de bypasses du confinement.

Les résultats sont exprimés par année réacteur (/a.r.), en terme de fréquence de fusion du cœur de l'EPS N1 du BR et du BK.

Les cibles probabilistes de sûreté sont décrites dans le sous-chapitre 18.0 "Exigences de sûreté".

2. ÉVALUATION GLOBALE DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR DE L'EPS N1

L'évaluation globale du risque de fusion du cœur des Etudes Probabilistes de Sûreté de niveau 1 du Bâtiment Réacteur (EPS N1 du BR) repose sur les données suivantes :

- La quantification de l'EPS N1 du BR (hors familles pratiquement éliminées étudiées vis-à-vis des risques de rejets précoces) dont la fréquence de fusion du cœur est évaluée au paragraphe 3.2 de la section 18.1.1 ;
- La quantification des scénarios de dilutions hétérogènes dont la fréquence de fusion du cœur est évaluée au paragraphe 2.3 de la section 18.1.3 vis-à-vis des risques de rejets précoces ;
- La quantification des scénarios de bypasses du confinement dont la fréquence de fusion du cœur est évaluée au paragraphe 3.3 de la section 18.1.3 vis-à-vis des risques de rejets précoces, à laquelle est soustraite la fréquence de la famille "brèche extérieur enceinte sur ISBP/RA dans les états d'arrêt". En effet, cette dernière est déjà comptabilisée dans la quantification de l'EPS N1 du BR de la section 18.1.1 (hors situations pratiquement éliminées).

En complément, la conception finalisée a été intégrée dans un modèle EPS BR N1 incluant un certain nombre d'évolutions de conception par rapport à l'état d'installation considéré dans les modèles EPS présentés aux chapitres 18.1.1 et 18.1.3. Les études de sensibilité basées sur ce modèle visent uniquement à montrer la suffisance des modèles de référence ; elles ont donc été menées en acceptant un certain nombre de conservatismes. Ces éléments sont dans les notes [Réf \[4\]](#), [Réf \[5\]](#), [Réf \[6\]](#) et [Réf \[7\]](#).

Le tableau [TAB-18.1.4.1](#) précise la répartition de l'évaluation globale du risque de fusion du cœur côté BR de l'EPS N1, par famille d'initiateurs.

L'évaluation globale du risque de fusion du cœur et de début d'ébullition des Etudes Probabilistes de Sûreté de niveau 1 du Bâtiment Combustible (EPS N1 du BK) repose sur les données suivantes :

- La quantification de l'EPS N1 du BK dont les fréquences de découverture du combustible et d'entrée en ébullition sont évaluées au paragraphe 3.2 de la section 18.1.1 ;

En complément, la conception finalisée a été intégrée dans un modèle EPS BK N1 incluant un certain nombre d'évolutions de conception par rapport à l'état d'installation considéré dans les modèles EPS présentés aux chapitres 18.1.1 et 18.1.3. Les études de sensibilité basées sur ce modèle visent uniquement à montrer la suffisance des modèles de référence ; elles ont donc été menées en acceptant un certain nombre de conservatismes. Ces éléments sont dans la note [Réf \[4\]](#).

Le tableau [TAB-18.1.4.2](#) précise la répartition de l'évaluation globale du risque de fusion du cœur coté BK de l'EPS N1, par famille d'initiateurs.

Le tableau [TAB-18.1.4.3](#) précise la répartition de l'évaluation globale du risque d'entrée en ébullition coté BK de l'EPS N1, par famille d'initiateurs.

3. RÉPARTITION DU RISQUE DE FUSION DU CŒUR DE L'EPS N1, PAR ÉTAT STANDARD DU RÉACTEUR

Le tableau [TAB-18.1.4.4](#) présente la répartition du risque total côté BR en fonction des différents états du réacteur et met en évidence le fait que les états en puissance représentent la plus grande partie du risque.

Le tableau [TAB-18.1.4.5](#) présente la répartition du risque de fusion coté BK en fonction des différents états du réacteur et met en évidence le fait que les états en arrêt représentent la plus grande partie du risque.

Le tableau [TAB-18.1.4.6](#) présente la répartition du risque d'entrée en ébullition coté BK en fonction des différents états du réacteur et met en évidence le fait que les états en puissance représentent la plus grande partie du risque.

4. CONCLUSIONS

Le risque global de fusion du cœur de l'EPS N1 du BR est évalué à \square /a.r.

Les études de sensibilité conduisent à une ré-évaluation de ce risque à \square /a.r.

Le risque global de découverture du combustible de l'EPS N1 du BK est évalué à \square /a.r.

Les études de sensibilité conduisent à une ré-évaluation de ce risque à \square /a.r.

Le risque global d'entrée en ébullition de l'EPS N1 du BK est évalué à \square /a.r.

Les études de sensibilité conduisent à une ré-évaluation de ce risque à \square /a.r.

Ces résultats démontrent donc que les cibles probabilistes, présentées au sous-chapitre 18.0 et rappelées ci-dessous, sont respectées.

- Pour les événements internes uniquement, c'est à dire en excluant les agressions internes et externes :
 - la fréquence de fusion du cœur doit être inférieure à 10^{-6} /a.r., tranche en puissance,
 - la fréquence de découverture du combustible doit respecter le seuil d'élimination pratique et être inférieure à 10^{-8} /a.r
 - la fréquence de fusion du cœur pour les états d'arrêts doit être inférieure à celle des états en puissance,
- Dans les cibles de conception de 10^{-6} /a.r pour la fusion du cœur, la contribution de chaque famille ne doit pas être excessive.

Les indisponibilités pour maintenance préventive contribuent à hauteur de \square % au risque global de fusion du cœur. Cette évaluation est cohérente avec la recommandation exprimée dans les Directives Techniques selon laquelle « les indisponibilités dues à la maintenance préventive ne devraient pas conduire à une part importante de la fréquence globale de fusion du cœur ».

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] EDF ECEF091640 B – “EPS EPR : Synthèse des Arbres d’Evènements et des coupes principales de l’EPS EPR de réalisation - Evolutions par rapport à l’EPS EPR VDAC”

[2] NEPS-F DC 398 E – « Probabilistic Study of Heterogeneous Boron Dilution Scenarii »

[3] EPSE DC 833 H – “EPR - Probabilistic analysis of accident sequences caused by interfacing Loss Of Coolant Accident”

[4] ECESN121123 A – “EPS EPR ; Synthèse des arbres d’événements et des coupes principales de l’EPS EPR de sensibilité – Evolutions par rapport à l’EPS EPR de réalisation”

[5] ECESN141069 A – “QUESTION N°ACNEN-2014-041”

[6] ECESN141026 A – “QUESTION N°4 DE LA DEMANDE ASN CODEP-DCN-2014-002353”

[7] D305115042132 A – “QUESTION N°3 DE LA DEMANDE ASN CODEP-DCN-2014-037896”



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 18

SECTION 1.4

PAGE 6/11

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-18.1.4.1 RÉPARTITION DU RISQUE DE FUSION DE
CŒUR DE L'EPS N1, PAR FAMILLES D'INITIATEURS POUR
LE BÂTIMENT RÉACTEUR**

□

**TAB-18.1.4.2 RÉPARTITION DU RISQUE DE
DÉCOUVREMENT DU COMBUSTIBLE DE L'EPS N1, PAR
FAMILLES D'INITIATEURS POUR LE BATIMENT
COMBUSTIBLE**

□

**TAB-18.1.4.3 RÉPARTITION DU RISQUE D'ENTRÉE EN
ÉBULLITION DE CŒUR DE L'EPS N1, PAR FAMILLES
D'INITIATEURS POUR LE BATIMENT COMBUSTIBLE**

□

TAB-18.1.4.4 RÉPARTITION DU RISQUE DE FUSION DE CŒUR DU BÂTIMENT RÉACTEUR PAR ÉTATS STANDARDS DU RÉACTEUR

□

**TAB-18.1.4.5 RÉPARTITION DU RISQUE DE
DÉCOUVREMENT DU COMBUSTIBLE DU BÂTIMENT
COMBUSTIBLE PAR ÉTATS STANDARDS DU RÉACTEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 18

SECTION 1.4

PAGE 11/11

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-18.1.4.6 RÉPARTITION DU RISQUE D'ENTRÉE EN
ÉBULLITION DE CŒUR DU BÂTIMENT COMBUSTIBLE PAR
ÉTATS STANDARDS DU RÉACTEUR**

□

SOMMAIRE

| | | |
|---------------|--|----------|
| .18.2 | ETUDE PROBABILISTE DE SURETE DE NIVEAU 2 | 3 |
| 1. | OBJECTIFS ET DOMAINE DE COUVERTURE | 3 |
| 1.1. | OBJECTIFS ASSOCIÉS A L'EPS DE NIVEAU 2 DE L'EPR | 3 |
| 1.1.1. | OBJECTIFS GÉNÉRAUX | 3 |
| 1.1.2. | CIBLES PROBABILISTES | 3 |
| 1.2. | DOMAINE DE COUVERTURE | 3 |
| 2. | PRINCIPALES DONNÉES D'ENTRÉE | 3 |
| 2.1. | EPS DE NIVEAU 1 | 3 |
| 2.2. | ÉVALUATION DE LA TENUE ULTIME DE L'ENCEINTE | 3 |
| 2.3. | PHÉNOMÉNOLOGIE | 4 |
| 2.4. | SYSTÈMES | 4 |
| 2.5. | FACTEUR HUMAIN | 4 |
| 3. | MÉTHODOLOGIE D'OBTENTION DE L'EPS DE NIVEAU 2 | 5 |
| 4. | RÉSULTATS | 5 |
| 5. | ANALYSE DES RÉSULTATS | 5 |
| | LISTE DES RÉFÉRENCES. | 7 |

TABLEAUX :

| | |
|---|----------|
| TAB-18.2.1 RÉPARTITION DU RISQUE DE REJETS INACCEPTABLES PAR MODE DE PERTE DU CONFINEMENT..... | 8 |
|---|----------|

FIGURES :

| | |
|--|----------|
| FIG-18.2.1 RÉPARTITION DU RISQUE DE REJETS INACCEPTABLES PAR FAMILLE D'INITIATEURS (ÉVÈNEMENTS BR)..... | 9 |
|--|----------|

| | |
|---|-----------|
| FIG-18.2.2 RÉPARTITION DU RISQUE DE REJETS INACCEPTABLES PAR MODE DE PERTE DU CONFINEMENT..... | 10 |
|---|-----------|

.18.2 ETUDE PROBABILISTE DE SURETE DE NIVEAU 2

1. OBJECTIFS ET DOMAINE DE COUVERTURE

1.1. OBJECTIFS ASSOCIÉS A L'EPS DE NIVEAU 2 DE L'EPR

1.1.1. OBJECTIFS GÉNÉRAUX

L'EPS de niveau 2 de l'EPR constitue un outil d'aide à la décision complémentaire de l'EPS de niveau 1, puisqu'elle permet de distinguer les différentes séquences accidentelles menant à la fusion du cœur en fonction de leur impact sur l'environnement. Elle permet de mieux apprécier l'apport des dispositifs et procédures, existants ou envisagés, vis-à-vis de la limitation des rejets en cas hypothétique d'Accident Grave.

1.1.2. CIBLES PROBABILISTES

Voir sous-chapitre 18.0.

1.2. DOMAINE DE COUVERTURE

Le domaine de couverture de l'EPS de niveau 2 est le même que celui de l'EPS de niveau 1 qui recouvre les initiateurs internes chaudière et les initiateurs liés à la piscine de désactivation du combustible usé (piscine BK).

2. PRINCIPALES DONNÉES D'ENTRÉE

2.1. EPS DE NIVEAU 1

L'EPS de niveau 2 est développée sur la base de l'EPS de niveau 1 pour le Rapport de Sûreté (voir sous-chapitre 18.1).

L'interface entre les deux niveaux d'EPS nécessite le regroupement des séquences de fusion et des séquences de ruptures de gaines issues de l'EPS de niveau 1 en Etats Dégradés de l'Installation qui représentent les conditions initiales de l'EPS de niveau 2.

La méthode de caractérisation des séquences de fusion en Etats Dégradés de l'Installation (EDI) est basée sur une typologie accidentelle cohérente avec l'EPS de niveau 1 en termes :

- d'état initial de la chaudière ;
- d'initiateur ;
- et de scénario menant à l'endommagement du combustible.

Elle utilise l'origine de la perte des fonctions de sûreté :

- contrôle de la réactivité: défaillance de l'AAR, dilution homogène, dilution hétérogène, coup de froid ;
- évacuation de la puissance résiduelle : perte de l'intégrité du circuit primaire, perte du secondaire, perte du RRA ;
- et est complétée si besoin par l'état des systèmes pour les états RRA non connecté.

2.2. ÉVALUATION DE LA TENUE ULTIME DE L'ENCEINTE


L'étude du comportement de l'enceinte de confinement au-delà des conditions de dimensionnement est une étape importante dans le développement d'une EPS de niveau 2.


Les études mécaniques de structure réalisées pour l'EPS de niveau 2 EPR permettent d'identifier les différents modes de ruine de l'enceinte de confinement interne EPR et de donner une loi de probabilité de la pression de rupture de l'enceinte (valeur moyenne, variabilité) pour différents niveaux de température.

La démarche adoptée s'inspire de celle développée dans le cadre des études de comportement en Accident Grave des enceintes des réacteurs de 900 MWe et repose sur le couplage de deux volets d'étude de manière à valider les résultats obtenus :

- Volet 1 – Approche déterministe : étude du comportement de l'enceinte interne soumise à un scénario d'évolution de pression et température au-delà des conditions de dimensionnement,
- Volet 2 – Approche probabiliste : étude de la tenue ultime de l'enceinte consistant à déterminer des pressions limites de tenue mécanique auxquelles est associée une variabilité liée aux variabilités intrinsèques sur les matériaux et les modélisations.

2.3. PHÉNOMÉNOLOGIE

Les études phénoménologiques ont ici pour objet l'analyse probabiliste des phénomènes physiques Accident Grave en support à la quantification des arbres d'événements. L'outil statistique utilisé est le logiciel  qui permet de faire des calculs numériques de type Monte Carlo.

Ces études phénoménologiques sont alimentées par des données issues de l'état de l'art international ainsi que par des résultats obtenus avec un code de calcul Accident Grave ().

Une étude phénoménologique a été développée pour chaque « famille » de phénomènes jugés influents sur la progression de l'Accident Grave :

- ruptures induites sur le RCP ;
- interaction corium-eau ;
- phénomènes à la rupture cuve ;
- comportement de l'hydrogène dans l'enceinte ;
- tenue du confinement sur le long terme.

2.4. SYSTÈMES

Les systèmes modélisés dans l'EPS de niveau 2 EPR sont :

- l'isolement enceinte (traversées systèmes et TAM) ;
- les vannes des lignes de décharge du pressuriseur ;
- l'EVU ;
- l'EDE ;
- le DWL ;
- et l'EBA petit débit.

La tenue des matériels aux conditions d'ambiance est vérifiée pour ces systèmes et pour l'instrumentation nécessaire à la conduite en Accident Grave (voir sous-chapitre 3.7).

2.5. FACTEUR HUMAIN

A l'exception de quelques actions prescrites en Conduite Incidentelle-Accidentelle, les missions modélisées sont principalement issues de la conduite Accident Grave (voir sous-chapitre 13.4).

L'évaluation probabiliste du facteur humain est réalisée à l'aide d'une méthode de quantification simplifiée permettant de hiérarchiser les moyens mis en œuvre (équipe de crise nationale en

redondance de l'équipe locale de crise) et de tenir compte de l'augmentation du délai disponible pour agir lorsque le critère d'entrée en Accident Grave est atteint.

3. MÉTHODOLOGIE D'OBTENTION DE L'EPS DE NIVEAU 2

L'EPS de niveau 2 est développée sur la base de l'EPS de niveau 1 pour le Rapport de Sûreté (voir sous-chapitre 18.1).

Le couplage des deux niveaux d'EPS au sein d'un même projet offre certaines fonctionnalités parmi lesquelles :

- la fusion booléenne des matériels défaillants entre les niveaux 1 et 2 ;
- la propagation des incertitudes paramétriques du niveau 1 jusqu'au niveau 2 ;
- la possibilité d'analyser les conséquences :
 - par états ;
 - par initiateurs ;
 - par facteurs de contribution des événements N1 et/ou N2 aux conséquences N2 ;
 - par facteurs d'accroissement de risque des événements N1 et/ou N2 aux conséquences N2.

Les arbres d'évènements décrivant les différents scénarios (ou séquences) de perte du confinement sont construits à partir d'évènements en-tête (ou missions) représentant :

- les défaillances de structures (circuit primaire, enceinte, radier) induites par l'occurrence de phénomènes AG ;
- les défaillances de systèmes ;
- l'échec de missions Facteur Humain.

Chaque séquence de l'arbre d'évènements de niveau 2 aboutit à une conséquence appelée "catégorie de rejets". Ces catégories de rejets permettent de regrouper les scénarios accidentels que l'on considère a priori équivalents sur le plan des rejets.

La catégorisation obtenue permet ensuite de se positionner directement (avis d'ingénieur) sur l'élimination pratique des situations accidentelles pouvant conduire à des rejets précoces et importants.

Enfin, l'évaluation des conséquences radiologiques associées à certaines catégories de rejets d'intérêt permet de distinguer les situations conduisant à une évacuation de la population au-delà du voisinage immédiat de l'installation des autres situations.

4. RÉSULTATS

Les résultats de l'EPS de niveau 2 EPR FA3 montrent que la fréquence des situations conduisant à une évacuation de la population au-delà du voisinage immédiat de l'installation est de \square /ar. Ce résultat respecte la cible probabiliste de 10^{-7} /ar définie pour ces situations dans le sous-chapitre 18.0.

Le risque de rejets inacceptables se décompose par mode de perte de confinement (voir tableau [TAB-18.2.1](#)).

5. ANALYSE DES RÉSULTATS

L'analyse par famille d'initiateurs met en évidence une répartition du risque équilibrée pour les événements BR comme le montre la figure [FIG-18.2.1](#).

L'étude des modes de perte du confinement montre que les situations de perte de ventilations et de mode Bêta (défaut d'isolement de l'enceinte) prédominent (voir [FIG-18.2.2](#) et [TAB-18.2.1](#)). Néanmoins, les fréquences associées à ces situations restent de l'ordre de $10^{-8}/ar$.

En outre, une analyse des contributeurs principaux à ces modes de perte du confinement fait apparaître plusieurs conservatismes dans les hypothèses de l'étude qu'il n'a pas été jugé nécessaire d'exploiter à ce stade.

Pour les situations de perte de ventilations, l'hypothèse □. Par ailleurs, la réparation de la plate-forme SPPA-T2000 nécessaire au fonctionnement des ventilations des bâtiments périphériques □.

Enfin, la perte du confinement par mode Bêta (défaut d'isolement de l'enceinte) est principalement portée par les situations TAM ouvert en état Cb2 (circuit primaire entrouvert). Dans cet état, le risque de fusion du coeur est jugé conservatif. □.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 18

SECTION 2

PAGE 7/10

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] Note EDF D305917008082 A – « EPS N2 EPR – Rapport Principal »

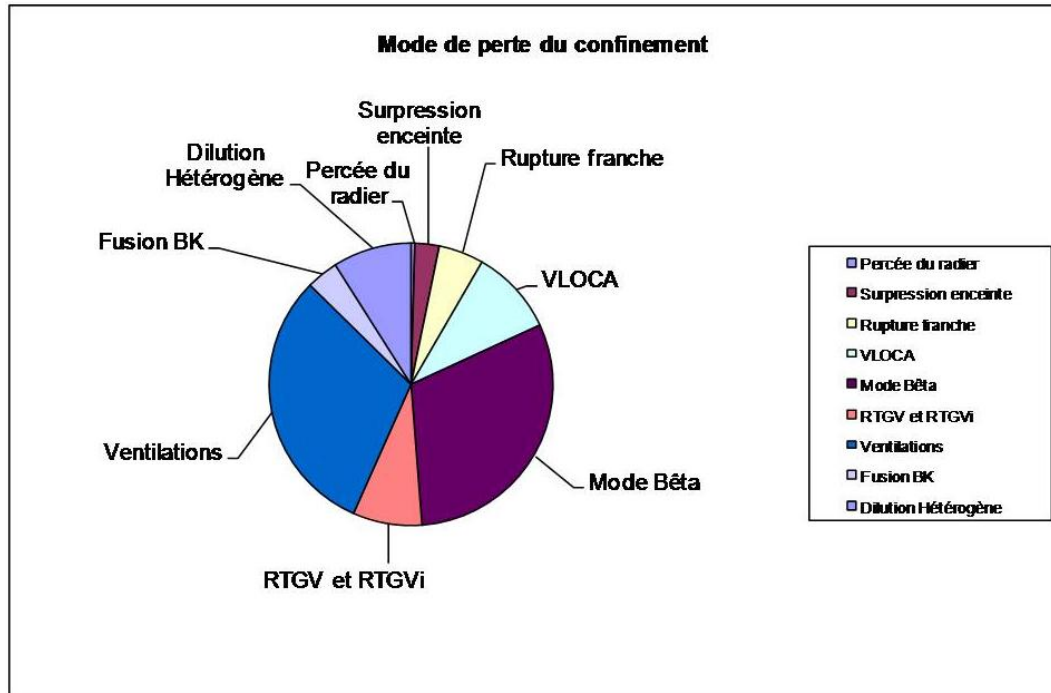
**TAB-18.2.1 RÉPARTITION DU RISQUE DE REJETS
INACCEPTABLES PAR MODE DE PERTE DU
CONFINEMENT**

□

**FIG-18.2.1 RÉPARTITION DU RISQUE DE REJETS
INACCEPTABLES PAR FAMILLE D'INITIATEURS (ÉVÈNEMENTS BR)**

- APRP : Accident de Perte de Réfrigérant Primaire
- ATWS : Transitoire sans arrêt automatique du réacteur
- BEE : Brèche Extérieure Enceinte sur ISBP/RRA
- DIL Ho : Dilutions homogènes
- DIL He : Dilutions hétérogènes
- PSF : Perte de Source Froide (perte de chaîne de refroidissement ou perte de source froide ultime)
- PSL HT : Perte de sources électriques haute tension
- RTGV : Rupture de Tube de Générateur de Vapeur
- RTS : Rupture de Tuyauterie Secondaire
- TGTA : Transitoires secondaires
- TRCP : Transitoires primaires (hors dilutions homogènes — voir famille DIL)
- Int. CC : Intempestifs du Contrôle-Commande
- Perte BT : Perte de sources électriques basse tension

FIG-18.2.2 RÉPARTITION DU RISQUE DE REJETS INACCEPTABLES PAR MODE DE PERTE DU CONFINEMENT



SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| .18.3 ÉTUDE PROBABILISTE DE SÛRETÉ AGRSSIONS. | 4 |
| 1. AGRSSIONS D'ORIGINES EXTERNES | 4 |
| 1.1. SÉISME | 4 |
| 1.1.1. COURBE D'ALÉA SISMIQUE MOYEN DU SITE | 4 |
| 1.1.2. COURBE DE FRAGILITÉ GLOBALE DE L'INSTALLATION | 5 |
| 1.1.3. ÉVALUATION DU RISQUE PAR CONVOLUTION DES COURBES | 5 |
| 1.1.4. RÉSULTATS | 5 |
| 1.2. CHUTE D'AVION | 6 |
| 1.3. RISQUES LIÉS À L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET AUX VOIES DE COMMUNICATION | 6 |
| 1.4. INONDATION EXTERNE | 7 |
| 1.5. CONDITIONS CLIMATIQUES EXTRÊMES | 7 |
| 1.5.1. PRÉAMBULE | 7 |
| 1.5.2. GRANDS FROIDS, NEIGE ET VENT | 7 |
| 1.5.3. FRASIL ET PRISE EN GLACE | 11 |
| 1.5.4. CANICULE | 11 |
| 1.5.5. SÉCHERESSE | 11 |
| 1.6. Foudre et interférences électromagnétiques (IEM) | 11 |
| 1.7. ÉVALUATION PROBABILISTE LIÉE AU CUMUL PERTE DE SOURCE FROIDE ET MANQUE DE TENSION EXTERNE LONG TERME | 11 |
| 1.7.1. OBJECTIFS | 12 |
| 1.7.2. CHAMPS ET LIMITES DE L'ÉTUDE | 12 |
| 1.7.3. HYPOTHÈSES DE L'ÉTUDE | 12 |
| 1.7.4. ÉVALUATION DES INITIATEURS LONG TERME | 13 |
| 1.7.5. RÉSULTATS | 14 |
| 2. AGRSSIONS D'ORIGINES INTERNES | 14 |
| 2.1. FUITES ET RUPTURES DES TUYAUTERIES – RUPTURE DE RÉSERVOIRS, POMPES ET VANNES | 14 |
| 2.2. MISSILES | 14 |
| 2.2.1. MISSILE TURBINE | 14 |
| 2.2.2. AUTRES MISSILES | 14 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3. CHUTES DE CHARGES | 15 |
| 2.4. EXPLOSION INTERNE | 15 |
| 2.4.1. DOMAINE COUVERT | 15 |
| 2.4.2. MÉTHODE | 15 |
| 2.4.3. RÉSULTATS | 16 |
| 2.5. INCENDIE | 17 |
| 2.5.1. MÉTHODOLOGIE DE L'EPS INCENDIE | 17 |
| 2.5.2. RÉSULTAT DE L'EPS INCENDIE | 18 |
| 2.6. INONDATION INTERNE | 20 |
| 2.6.1. DOMAINE COUVERT | 20 |
| 2.6.2. MÉTHODOLOGIE DE L'EPS INONDATION INTERNE | 20 |
| 2.6.3. RÉSULTATS | 21 |
| 3. SYNTHÈSE | 22 |
| LISTE DES REFERENCES. | 24 |



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 18

SECTION 3

PAGE 3/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIGURES :

| | |
|--|-----------|
| FIG-18.3.1 COURBES D'ALÉA SISMIQUE RÉGIONAL CALCULÉES POUR LE SITE DE FLAMANVILLE | 26 |
| FIG-18.3.2 COURBE DE FRAGILITÉ GLOBALE DE L'INSTALLATION | 27 |
| FIG-18.3.3 COURBE DE RISQUE CUMULÉ DE FUSION DU COMBUSTIBLE LIÉ À L'OCCURRENCE D'UN SÉISME..... | 28 |

.18.3 ÉTUDE PROBABILISTE DE SÛRETÉ AGRSSIONS

Le présent sous-chapitre expose les éléments d'analyse du risque de fusion du combustible associé aux agressions internes et externes, pour la tranche EPR de Flamanville.

La démarche mise en œuvre pour évaluer le risque engendré par une agression est fonction de l'agression étudiée : chaque agression est donc traitée dans une section dédiée.

Les résultats des évaluations quantitatives réalisées sont synthétisés dans le [§ 3.](#) pour déterminer :

- la fréquence de fusion du combustible engendrée par les agressions internes,
- la fréquence de fusion du combustible associée aux agressions externes.

Les exigences de sûreté relatives à ces deux familles sont présentées dans le sous-chapitre 18.0.

1. AGRSSIONS D'ORIGINES EXTERNES

Les agressions externes considérées sont celles traitées dans le sous-chapitre 3.3, à savoir :

- le séisme,
- la chute d'avion,
- les risques industriels et voies de communication – explosion externe,
- l'inondation externe,
- les conditions climatiques extrêmes (neige, vent, températures basses, températures hautes...),
- la foudre et les interférences électromagnétiques,
- les agressions externes propres au site.

1.1. SÉISME

Compte tenu de la sismicité modérée du site de Flamanville en regard du niveau de dimensionnement de l'EPR, la démarche retenue pour l'analyse du risque de fusion du combustible lié à l'occurrence d'un séisme sur Flamanville 3 est basée sur une étude probabiliste simplifiée cf [Réf \[1\]](#) dont l'objectif est d'évaluer une valeur enveloppe de ce risque. Les principales étapes de cette étude probabiliste sont :

- Etablissement de la courbe d'aléa sismique moyen du site,
- Développement de la courbe de fragilité globale de l'installation,
- Évaluation du risque par convolution des courbes d'aléa et de fragilité.

1.1.1. COURBE D'ALÉA SISMIQUE MOYEN DU SITE

La courbe d'aléa utilisée est la courbe d'aléa moyen du site de Flamanville issue du rapport [Réf \[2\]](#). Ce rapport présente une évaluation de l'aléa sismique basée sur une approche probabiliste conforme à l'état de l'art, visant à déterminer la courbe d'aléa sismique régional du site EDF de Flamanville.

Les courbes d'aléa sismique obtenues (voir figure [FIG-18.3.1](#)) fournissent le taux annuel de dépassement des valeurs d'accélération maximale au sol associé aux différentes grandeurs statistiques (médiane, moyenne et centiles 16 % et 84 %).

L'évaluation du risque sismique de fusion du combustible a été réalisée à partir de la courbe d'aléa moyen. Les trois autres courbes ont été utilisées dans l'analyse de sensibilité de l'étude.

1.1.2. COURBE DE FRAGILITÉ GLOBALE DE L'INSTALLATION

La courbe de fragilité globale donne la probabilité de défaillance de l'installation en fonction de l'accélération maximale au sol. Elle se détermine à partir de deux paramètres :

- la capacité sismique dite « HCLPF » (High Confidence of Low Probability of Failure) qui correspond au niveau d'accélération maximale au sol pour lequel on estime à 95 % de confiance que la probabilité de défaillance de l'installation (fusion du combustible) est de 5 %.
- l'écart type qui traduit les incertitudes et la variabilité sur la capacité sismique de l'installation. Une valeur forfaitaire de 0,4 est retenue pour cet écart type.

L'évaluation de la capacité sismique HCLPF de l'installation se base sur les éléments disponibles concernant le dimensionnement de l'EPR et ses marges de conception. De façon cohérente avec les éléments bibliographiques internationaux présentés en annexe de la [Réf \[1\]](#), une capacité sismique HCLPF égale à 1,6 fois le niveau de dimensionnement est retenue pour l'étude.

1.1.2.1. CAPACITÉ HCLPF DE L'ÎLOT NUCLÉAIRE

Pour l'îlot nucléaire de l'EPR Flamanville 3, dimensionné pour un spectre de sol normé à 0,25 g, la capacité HCLPF est évaluée à 0,4 g.

1.1.2.2. PRISE EN COMPTE DE LA STATION DE POMPAGE

En raison d'une sismicité locale modérée, les ouvrages de site de l'EPR Flamanville 3 ont été dimensionnés avec un spectre de sol normé à 0,20 g. La prise en compte de la station de pompage dans l'analyse est effectuée de façon conservative en considérant que l'ensemble de l'installation a été dimensionné à ce niveau.

Cela revient au final à considérer une capacité HCLPF évaluée à 0,32 g.

La courbe de fragilité de l'installation ainsi obtenue est fournie en figure [FIG-18.3.2](#).

1.1.3. ÉVALUATION DU RISQUE PAR CONVOLUTION DES COURBES

Le risque de fusion du combustible lié à l'occurrence d'un séisme sur Flamanville 3 est obtenu en convoluant les courbes d'aléa et de fragilité via la formule suivante :

□

où :

□

Le risque calculé cumule ainsi les contributions de chaque niveau de séisme : les niveaux de séisme faibles associés à une grande fréquence d'occurrence mais à une probabilité faible de défaillance ; et les niveaux de séisme élevés associés à une faible fréquence d'occurrence mais à une forte probabilité de défaillance.

1.1.4. RÉSULTATS

La mise en application de cette méthodologie aboutit à un risque de fusion du combustible induit par un séisme d'environ □/année.réacteur (voir figure [FIG-18.3.3](#)).

Cette valeur de risque est enveloppe du fait :

- du caractère simplifié de la méthode employée pour la calculer (avec notamment l'utilisation d'une courbe de fragilité unique, égale à celle de la station de pompage, pour toute l'installation) ; en

particulier, il n'est pas tenu compte du raccordement possible aux ouvrages de rejet en cas de perte de la station de pompage.

- de l'estimation sécuritaire des données d'entrée utilisées. L'analyse de sensibilité réalisée (Cf. [Réf \[1\]](#)) sur les différentes données d'entrée montre effectivement que les hypothèses conservatives retenues pour la détermination de la capacité sismique HCLPF de l'installation garantissent le caractère enveloppe de la valeur de risque calculée. □

Il serait possible de réduire de façon significative la valeur de risque de fusion du combustible en affinant, sur une base plus représentative, les hypothèses de dimensionnement des structures et des composants ou l'évaluation de la capacité sismique HCLPF de l'installation.

1.2. CHUTE D'AVION

La RFS 1.2.a « prise en compte des risques liés aux chutes d'avions » demande que la probabilité d'agression d'une des cibles définies ci-après soit évaluée pour les trois types d'aviation : générale, commerciale et militaire.

Les cibles sont constituées des bâtiments □ abritant des structures et équipements nécessaires aux trois fonctions de sûreté suivantes :

- arrêt du réacteur et évacuation de la puissance résiduelle,
- stockage du combustible usé,
- traitement et confinement des effluents radioactifs.

L'évaluation repose sur une hypothèse □.

Les conséquences inacceptables considérées dans cette RFS correspondent au rejet de produits radioactifs (avec et sans fusion du combustible), les cibles définies précédemment incluent donc les structures et équipements nécessaires pour prévenir la fusion du combustible.

Par conséquent, l'évaluation réalisée en application de la RFS 1.2. a constitue une estimation enveloppe du risque de fusion du combustible engendré par le trafic aérien.

L'étude du risque lié à la chute d'avion pour Flamanville 3 est présentée dans la section 3.3.3. La probabilité d'agression d'une des fonctions de sûreté est, selon cette étude, de □/année.réacteur.

1.3. RISQUES LIÉS À L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET AUX VOIES DE COMMUNICATION

La RFS 1.2. d « prise en compte des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication » demande que la probabilité d'agression d'une des cibles définies ci-après soit évaluée. Les événements considérés sont l'explosion externe, l'incendie externe et le dégagement externe de produits toxiques.

Les cibles sont constituées des bâtiments, structures et équipements nécessaires aux trois fonctions de sûreté suivantes :

- arrêt du réacteur et évacuation de la puissance résiduelle,
- stockage du combustible usé,
- traitement et confinement des effluents radioactifs.

Les conséquences inacceptables considérées dans cette RFS correspondent au rejet de produits radioactifs (avec et sans fusion du combustible), les cibles définies ci-dessus incluent donc les structures et équipements nécessaires pour prévenir la fusion du combustible.

Par conséquent, l'évaluation réalisée en application de la RFS 1.2. d constitue une estimation enveloppe du risque de fusion du combustible engendré par l'environnement industriel et les voies de communication.

L'étude des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication pour Flamanville 3 est présentée dans la section 3.3.4. La probabilité d'agression d'une des fonctions de sûreté est, selon cette étude, jugée résiduelle.

1.4. INONDATION EXTERNE

Compte tenu des marges de conception existantes, (voir section 3.3.5), le risque est jugé résiduel.

1.5. CONDITIONS CLIMATIQUES EXTRÊMES

1.5.1. PRÉAMBULE

Les phénomènes considérés dans cette section sont soumis à l'influence des évolutions climatiques à venir. On ne cherchera pas à évaluer le risque lié à ces phénomènes à échéance de la durée d'exploitation de la centrale mais on se fixera un objectif à plus court terme, à savoir 2030.

Pour la sécheresse, les grands froids, la neige, le frasil et la prise en glace, la situation actuelle est considérée enveloppe de la situation future.

1.5.2. GRANDS FROIDS, NEIGE ET VENT

1.5.2.1. NEIGE ET VENT

- Neige

Les conséquences potentielles de fortes chutes de neige sur l'installation sont les suivantes :

- chargements induits sur les structures et les équipements exposés,
- colmatage des prises d'air des ventilations,
- perte des alimentations électriques externes.

Tous les bâtiments, qu'ils soient classés de sûreté ou non, sont dimensionnés pour résister aux effets de la neige.

De plus, le dimensionnement des bâtiments classés sûreté prend en compte les chargements induits par [], le séisme et les explosions externes ce qui leur assure une protection suffisante vis-à-vis de chutes de neige exceptionnelles.

Compte tenu des marges de conception existantes dans la conception des systèmes de ventilation classés sûreté, (voir section 3.3.6), le risque de colmatage par la neige est jugé résiduel.

Par conséquent la perte des alimentations électriques externes constitue la conséquence la plus probable de fortes chutes de neige. Il s'agit d'un événement étudié dans l'EPS de niveau 1 et la neige n'affecte pas la disponibilité des parades valorisées dans l'EPS de niveau 1 pour gérer cet événement initiateur.

Le risque engendré par la neige est donc couvert par les évaluations réalisées dans le cadre de l'EPS de niveau 1, (voir le chapitre 18.1).

- Grands vents

Pour l'analyse des conséquences potentielles du vent sur l'installation on distingue les effets directs du vent sur les structures et les équipements et les dommages causés par les projectiles générés par le vent.

• Missiles générés par le vent

Les équipements extérieurs classés F1 et les équipements classés F2 nécessaires au repli et au maintien de la tranche en état sûr sont protégés contre les projectiles susceptibles d'être générés par le vent. Les dispositions prises sont jugées suffisantes pour écarter le risque associé.

• Effets directs

En plus de la charge exercée sur les structures et les équipements directement exposés, les grands vents sont susceptibles :

- d'affecter le fonctionnement des ventilations,

- de provoquer une perte des alimentations électriques externes,
- d'entraîner une arrivée massive de corps marins susceptible de conduire au colmatage de la prise d'eau.

L'ensemble des bâtiments et des équipements extérieurs est dimensionné pour résister aux effets du vent. L'ensemble des matériels classés de sûreté F1 ou F2 est donc protégé contre les effets mécaniques et aérodynamiques directs du vent.

De plus, le dimensionnement des bâtiments classés sûreté prend en compte les chargements induits par [§ 1.7.](#), le séisme et les explosions externes ce qui leur confère une protection suffisante vis-à-vis des grands vents.

Les ventilations classées de sûreté sont dimensionnées en tenant compte des effets du vent.

Les conséquences les plus probables de l'occurrence de grands vents sont donc la perte des alimentations électriques externes et la perte de la source froide. Ces 2 événements sont étudiés séparément dans l'EPS de niveau 1 (voir chapitre 18.1). Leur cumul sur le long terme fait l'objet de l'analyse présentée dans le [§ 1.7.](#)

Le risque engendré par les grands vents est donc couvert par les évaluations réalisées dans le cadre de l'EPS de niveau 1 ou de l'EPS long terme.

1.5.2.2. GRANDS FROIDS

Concernant les températures minimales, le site est caractérisé par un jeu de trois grandeurs caractéristiques, établi à partir des valeurs issues du retour d'expérience. Ces valeurs sont élaborées à partir des valeurs cinquantennales et centennales, ce qui leur confère un degré de confiance élevé.

Les valeurs sont présentées dans le tableau ci-dessous (Cf [Réf \[3\]](#)) :

RELEVÉS MÉTÉOROLOGIQUES FA3

| | Température minimale longue durée (1) | Température courte durée (2) | Température instantanée (3) |
|-------------------------|--|---------------------------------|--------------------------------|
| Flamanville (Cherbourg) | -3,5 °C | -8,5 °C | -12,0 °C |

(1) Température minimale longue durée : minimum de la température moyenne observé pendant plus de 7 jours consécutifs, la période de retour étant de 50 ans.

(2) Température courte durée : minimum de la température moyenne sur 24 heures; la période de retour étant de 100 ans.

(3) Température instantanée : température minimale instantanée ou tri horaire (si la température minimale n'est pas disponible avec un degré de confiance suffisant) ; la période de retour étant de 100 ans.

Par ailleurs, le tableau suivant présente les valeurs de températures retenues pour la conception de FA3 (et rappelle les valeurs issues du REX).

TEMPÉRATURES DE CONCEPTION FA3

| | Température minimale longue durée (1) | Température courte durée (2) | Température instantanée (3) |
|--|--|---------------------------------|--------------------------------|
| <i>Flamanville (Cherbourg) :</i> <i>REX</i> | -3,5 °C | -8,5 °C | -12,0 °C |
| Conception site | □ °C | □ °C | □ °C |
| Conception standard | □ °C | □ °C | □ °C |

On en déduit les marges de conception suivantes :

MARGES DE TEMPÉRATURES FA3

| | Température minimale longue durée (1) | Température courte durée (2) | Température instantanée (3) |
|--|--|---------------------------------|--------------------------------|
| <i>Flamanville (Cherbourg) :</i> <i>REX</i> | -3,5 °C | -8,5 °C | -12,0 °C |
| Conception site | □ °C | □ °C | □ °C |
| Marge / Conception site | □ °C | □ °C | □ °C |
| Conception standard | □ °C | □ °C | □ °C |
| Marge / Conception standard | □ °C | □ °C | □ °C |

L'agression externe 'Grands Froids' traite par définition exclusivement des températures au delà des températures de dimensionnement. La conception garantit le fonctionnement des systèmes jusqu'aux conditions de dimensionnement, y compris pour les matériels à faible inertie thermique.

Concernant les bâtiments reconductibles, ils sont dimensionnés en utilisant les températures de conception standard, ce qui laisse une marge très substantielle (□). De plus, la probabilité de dépassement des valeurs de conception standard n'a pas été évaluée mais serait très largement inférieure à la probabilité de dépassement de la température de conception site elle-même résiduelle, comme expliqué ci-après

L'hypothèse d'un tel dépassement peut donc être écartée de l'étude agression externe 'Grands Froids'.

Concernant les bâtiments de site, ils sont dimensionnés en utilisant les températures de conception site, ce qui laisse une marge comprise entre □ et □ degrés en dessous des valeurs minimales relevées.

Les températures de conception site sont utilisées uniquement pour la station de pompage, les galeries SEC 1 à 4 et l'ouvrage de rejet.

L'analyse des données disponibles permet de montrer que les températures courte durée (□ °C) et instantanée (□ °C) définies dans le dimensionnement site sont inatteignables et donc que la probabilité de dépassement de la température de conception site peut être considérée comme résiduelle (voir [Réf \[4\]](#)).

Bien que la probabilité de dépassement de la température de conception site soit résiduelle, une vérification de l'absence d'effet falaise en cas de dépassement des températures de dimensionnement site peut être réalisée. Dans ce cadre, un éventuel dépassement impacterait uniquement les zones à faible inertie thermique, ainsi que d'éventuels matériels qui seraient à l'extérieur et de faible inertie thermique, (voir paragraphe 2.4.4.1 de la section 3.3.6).

La station de pompage est un bâtiment à forte inertie thermique et conditionné dans son ensemble, (voir paragraphe 2.4.3.1 de la section 3.3.6). Seuls les locaux décrits dans le paragraphe 2.4.3.1 de la section 3.3.6 du RDS ne sont pas nécessairement conditionnés, mais ils ne présentent aucun équipement sensible ou de sûreté. De plus, le système de conditionnement DVP est dimensionné en base pour un cas de charge plus contraignant que celui des grands froids, (voir paragraphe 2.4.3.1 de la section 3.3.6). L'ouvrage de rejet est lui aussi un bâtiment à forte inertie thermique dans son

ensemble. Certaines zones sont à faible inertie thermique, mais ces zones ne comportent aucun équipement sensible (voir paragraphe 2.4.3.3 de la section 3.3.6). Le document [Réf \[15\]](#) démontre l'absence d'effet falaise sur la station de pompage et l'ouvrage de rejet lié à un hypothétique dépassement des températures de dimensionnement.

Enfin il n'a été identifié aucune zone à faible inertie thermique dans les galeries SEC.

L'ensemble de ces éléments permet de conclure que le risque associé à l'agression grands froids relève du domaine résiduel.

1.5.3. FRASIL ET PRISE EN GLACE

- Frasil

Les données de températures d'eau de mer issues de l'analyse du Centre Européen de Prévision météorologique à Moyen terme et des mesures au droit du site de Flamanville couvrent plusieurs épisodes froids récents (hivers 1963, 1985, 1987). Elles permettent d'établir que la valeur minimale de température d'eau à Flamanville est supérieure à 4°C sur cette période. Cela représente a minima une marge de 6°C par rapport à la température d'eau de mer qui amènerait à la formation potentielle de frasil.

La formation de frasil sur le site de Flamanville paraît donc hautement improbable : tout risque de perte de la source froide de la tranche EPR de Flamanville par un phénomène frasil est exclu.

- Prise en glace

En situation normale, le niveau de la source froide se situe au-dessus du niveau des Plus Basses Eaux Normales (PBEN) calé à \square NGFN. Le niveau des Plus Basses Eaux de Sécurité est calé à \square m NGFN, soit \square m en dessous du niveau PBEN. Pour que la formation de glace conduise à une perte de source froide dommageable à la sûreté de la tranche, il faudrait que l'épaisseur de glace dépasse \square m ce qui est hautement improbable.

1.5.4. CANICULE

Les principes de prise en compte des températures chaudes dans le dimensionnement de l'EPR sont décrits dans le document de [Réf \[5\]](#).

Les valeurs maximales de températures retenues pour l'EPR tiennent compte des évolutions climatiques à fin de siècle, ayant une période de retour de 100 ans et basées sur un scénario pessimiste d'évolution des concentrations des gaz à effet de serre (Cf [Réf \[5\]](#)).

Les probabilités de dépassement des températures de dimensionnement à Flamanville à horizon 2030 ont été déterminées par extrapolation des données historiques. Les modalités des extrapolations effectuées et les résultats obtenus sont exposés dans le document [Réf \[3\]](#).

Les valeurs obtenues sont suffisamment faibles pour repousser le risque associé dans le domaine résiduel.

1.5.5. SÉCHERESSE

Les dispositions prises à la conception (définition du niveau des Plus Basses Eaux de Sécurité - PBES) sont jugées suffisantes pour repousser le risque associé à cette agression dans le domaine résiduel.

1.6. Foudre et interférences électromagnétiques (IEM)

Les dispositions prises en compte à la conception (voir section 3.3.7) sont jugées suffisantes pour repousser le risque associé à cette agression dans le domaine résiduel.

1.7. Évaluation probabiliste liée au cumul perte de source froide et manque de tension externe long terme

Ce paragraphe traite de l'évaluation probabiliste des risques liés au cumul PSF-MDTE sur le long terme (cf [Réf \[6\]](#)), ce cumul étant caractéristique d'un phénomène d'agression climatique.

1.7.1. OBJECTIFS

L'objectif de l'étude étant de vérifier l'absence d'effet falaise sur des durées de transitoires supérieures à 24 heures, les séquences de fusion induites par des initiateurs dont le temps de récupération pourrait être supérieur à cette limitation sont étudiées sur le long terme.

1.7.2. CHAMPS ET LIMITES DE L'ÉTUDE

L'initiateur analysé dans le cadre de l'étude des risques associés à des transitoires long terme est un aléa climatique dont les conséquences sont les suivantes :

- perte totale de la station de pompage par colmatage (arrivée massive de corps marins),
- perte totale des alimentations électriques externes (perte du réseau).

L'étude long terme analyse les conséquences du cumul de ces deux initiateurs sur une durée de 100 heures. La durée de 100 heures est une durée conventionnellement admise, elle correspond à la durée potentielle maximale d'indisponibilité de la source froide consécutive à une agression externe.

L'agression climatique affecte toute l'installation. Ses conséquences sont étudiées vis-à-vis du risque de fusion du cœur et du risque de découplage des assemblages en piscine de désactivation.

1.7.3. HYPOTHÈSES DE L'ÉTUDE

1.7.3.1. CRITÈRES DE DÉCOUPLAGE

Les critères de découplage pris en compte pour le calcul du risque de fusion du cœur sont ceux définis au Chap18.1 pour les EPS de niveau 1.

Pour l'estimation du risque de découplage des assemblages stockés en piscine de désactivation, dans le cadre de l'étude long terme associée au cumul PSF-MDTE, le critère de découplage est l'atteinte du niveau \square m dans la piscine de désactivation, ce qui correspond au haut d'un assemblage posé en fond de piscine. En effet, dans le cas d'un initiateur de type agression climatique, les alertes météo sont mises à profit pour arrêter toute opération de manutention du combustible avant la tempête.

1.7.3.2. ÉTUDE COUPLÉE BR-BK

Le couplage de ces deux EPS a un impact sur la disponibilité des systèmes de sauvegarde, notamment le système EVU, les diesels d'ultime secours et les bâches JAC/JPI :

- Le système EVU est nécessaire au refroidissement de la piscine IRWST (en cas de brèche sur le circuit primaire) et au refroidissement de l'échangeur du 3^{ème} train PTR (en cas d'indisponibilité des trains PTR principaux, notamment suite à la perte de la station de pompage).
Au vu des délais de grâce avant l'atteinte du critère de découplage (\square) disponibles en états A à D (\square), la priorité est donnée à la sauvegarde du cœur et les deux trains EVU sont lignés et disponibles pour refroidir la piscine IRWST.

En état E, les conditions de température dans la piscine de désactivation nécessitent la disponibilité d'un train EVU pour refroidir le 3^{ème} train PTR. La disponibilité des 2 trains EVU suit donc la répartition suivante :

| Etats | Lignage du train 1 EVU | Lignage du train 4 EVU | Refroidissement IRWST | Refroidissement piscine BK |
|-------|---|----------------------------|--------------------------|--|
| A à D | Refroidissement de l'IRWST | Refroidissement de l'IRWST | 2 trains EVU disponibles | Non requis (délais de grâce pour l'appoint > 100h) |
| E | Refroidissement du 3 ^{ème} train PTR | Refroidissement de l'IRWST | 1 train EVU disponible | 1 train EVU disponible |
| F | Refroidissement du 3 ^{ème} train PTR | Non requis | Non requis | 1 train EVU disponible |

- En cas de perte des alimentations électriques externes et internes, le transitoire doit être géré par les diesels d'ultime secours. L'utilisation des diesels d'ultime secours permet d'assurer la réalimentation des systèmes de sauvegarde dans le BR et/ou dans le BK en fonction des états de tranche :
 Dans les états A à D, au vu des délais de grâce disponibles avant l'atteinte du critère de découplage (□) en piscine BK, la priorité est donnée à la sauvegarde du cœur. Ainsi, les deux diesels d'ultime secours sont disponibles pour gérer l'accident dans le BR.
 En état E, un diesel d'ultime secours est affecté à la gestion de l'accident dans le BR (le diesel LJS) et l'autre alimente les systèmes de sauvegarde de la piscine BK (le diesel LJP).
- Les bâches JAC/JPI sont requises lors de la réalimentation des bâches ASG et pour l'appoint en piscine de désactivation.
 L'EPS BK de niveau 1 présentée en section 18.1.1 prend comme hypothèse que la grande bâche □ doit être réservée à la réalimentation des bâches ASG dans les états A à D. Dans ces états, l'appoint à la piscine BK est réalisé par la petite bâche □. Cette hypothèse est reconduite dans le cadre de l'EPS long terme.
 Pour les états D à F, le circuit primaire étant ouvert, les GV sont isolés et ne sont plus utilisés pour l'évacuation de la puissance résiduelle. La grande bâche □ est donc disponible pour l'appoint de la piscine BK dans ces états.

1.7.4. ÉVALUATION DES INITIATEURS LONG TERME

La fréquence de l'initiateur de perte de la source froide ultime en tant qu'événement interne est estimée à $F_{PSF} = 10^{-5}$ / a.r. (Cf [Réf \[8\]](#)).

Pour l'évaluation de l'initiateur durant la phase long terme, on tient compte d'un temps moyen de récupération de l'initiateur de 33 heures, pour une durée globale d'indisponibilité de la source froide de 100 heures (cela signifie que la probabilité de retrouver la source froide au bout de 100 heures est approximativement 0,95). On calcule l'initiateur de la manière suivante pour T=100 heures :

$$F_{PSF_100h} = F_{PSF} \times e^{(-100/33)} = 4,9 \cdot 10^{-7} / a.r.$$

La probabilité de cumuler à la perte de la station de pompage une perte totale du réseau est estimée conservativement à 20%. La fréquence de l'initiateur cumulé PSF-MDTE est donc égale à :

$$F_{MDTE + PSF} = 4,9 \cdot 10^{-7} \times 20\% = 10^{-7} / a.r.$$

1.7.5. RÉSULTATS

1.7.5.1. FUSION DU CŒUR

La fréquence de fusion du cœur suite à une agression climatique caractérisée par le cumul de la perte totale de la station de pompage et de la perte totale des alimentations électriques externes sur une durée de 100 heures est égale à 10^{-10} /année.réacteur.

Les résultats détaillés et leur analyse sont présentés dans la [Réf \[6\]](#).

1.7.5.2. DÉCOUVREMENT DES ASSEMBLAGES

La fréquence de découvrement des assemblages stockés en piscine de désactivation est égale à 10^{-9} /a.r.

Les résultats détaillés et leur analyse sont présentés dans les [Réf \[6\]](#) et [Réf \[7\]](#).

Le risque de fusion des assemblages stockés dans la piscine de désactivation est pratiquement éliminé (de l'ordre de quelques 10^{-9} /a.r.).

2. AGRESSIONS D'ORIGINES INTERNES

Les agressions internes considérées sont celles traitées dans le sous-chapitre 3.4, à savoir :

- les fuites et rupture de tuyauteries,
- les défaillances des cuves, réservoirs, pompes et vannes,
- les missiles internes,
- la chute de charge,
- l'explosion interne,
- l'incendie,
- l'inondation interne.

2.1. FUITES ET RUPTURES DES TUYAUTERIES – RUPTURE DE RÉSERVOIRS, POMPES ET VANNES

Les effets des ruptures de tuyauteries, de réservoirs, pompes et vannes pris en compte dans l'évaluation de la contribution de ces agressions au risque de fusion du combustible sont les inondations (par aspersion ou par submersion) et l'humidité. Ces aspects sont traités dans l'analyse du risque lié à l'inondation interne.

2.2. MISSILES

2.2.1. MISSILE TURBINE

En application de la RFS I.2.b, la conception mécanique de la turbine et les dispositions concernant le contrôle et l'exploitation permettent de ne pas retenir le risque d'émission de projectiles, (voir chapitre 10.2).

2.2.2. AUTRES MISSILES

Les dispositions prises à la conception pour prévenir l'émission de missiles, (voir section 3.4.4) ainsi que le niveau d'assurance qualité appliqué pendant l'exploitation et la maintenance de l'installation garantit une fréquence d'éjection d'un missile extrêmement faible.

En raison de leur forte capacité de pénétration, les grappes de contrôle et les pièces de vannes (par exemple, tiges de vannes) sont considérées comme étant enveloppe des défaillances des

équipements sous pression. Elles sont retenues comme missiles potentiels dans les études déterministes pour vérifier la suffisance des mesures de protection contre les missiles.

Les mesures de protection retenues à la conception (séparation géographique, casematage, ...) permettent d'affirmer que les conséquences d'une émission de projectile sont principalement celles induites par l'indisponibilité ou la perte d'intégrité de l'équipement auquel appartenait le missile généré. Le risque de dommage sur les équipements ou structures avoisinants est également pris en compte dans les études déterministes (vérification de l'absence de risque de perforation du GC notamment, cf section 3.4.4).

Suivant les cas, l'émission d'un projectile peut donc entraîner :

- Une petite brèche,
- Une brèche extérieure enceinte,
- L'indisponibilité d'un train d'un système de sûreté.

Ces événements sont étudiés dans l'EPS de niveau 1 avec une fréquence d'occurrence supérieure à la fréquence d'éjection d'un missile.

L'évaluation du risque lié aux missiles internes (autres que le missile turbine) est donc couverte par les analyses menées dans le cadre de l'EPS de niveau 1.

2.3. CHUTES DE CHARGES

L'évaluation de la fiabilité du pont polaire (Cf [Réf \[9\]](#)) conclut que la probabilité de chute de la charge est de l'ordre de 5.10^{-8} /a.r..

Le risque engendré par les chutes de charge peut donc être considéré comme résiduel.

2.4. EXPLOSION INTERNE

2.4.1. DOMAINE COUVERT

Il s'agit d'évaluer le risque lié à l'explosion à l'intérieur des bâtiments pour tous les états standards du réacteur. Les dispositions prises à la conception pour protéger les bâtiments classés de sûreté contre les agressions externes (chute d'avion, séisme et explosions externes) sont jugées suffisantes pour pouvoir affirmer que le risque induit par les explosions à l'extérieur des bâtiments est résiduel.

2.4.2. MÉTHODE

La méthode envisagée pour l'évaluation se décompose en quatre étapes :

- Étape 1 : identification des initiateurs d'explosion interne,
- Étape 2 : détermination de la fréquence des initiateurs d'explosion,
- Étape 3 : analyse des conséquences d'une explosion interne,
- Étape 4 : quantification.

La méthode est présentée dans la [Réf \[10\]](#).

2.4.2.1. IDENTIFICATION DES INITIATEURS D'EXPLOSION INTERNE

La première étape de l'évaluation consiste à identifier les sources de dégagement gazeux susceptibles de conduire, en cas d'indisponibilité des systèmes permettant de prévenir la formation d'une atmosphère explosive, à une concentration en gaz explosif dans l'air supérieure à la Limite Inférieure d'Explosivité (LIE).

Les circuits et les locaux considérés sont les circuits et les locaux à risque identifiés dans les études de sûreté relatives à la prévention de l'explosion (voir section 3.4.6).

2.4.2.2. DÉTERMINATION DE LA FRÉQUENCE DES INITIATEURS D'EXPLOSION

L'objectif de cette étape est de quantifier la fréquence d'occurrence des initiateurs recensés lors de l'étape 1.

De façon conservative, on suppose qu'il y a explosion dès qu'il y a formation d'une atmosphère explosive.

Pour les circuits à risque, la fréquence d'occurrence d'une atmosphère explosive dépend de :

- La fréquence d'une fuite de gaz explosif susceptible de conduire à la formation d'une atmosphère explosive,
- La fiabilité des systèmes et/ou dispositions permettant de prévenir la formation d'une atmosphère explosive (détection et isolement de la fuite, ventilation, ...).

Pour les procédés générant des gaz explosifs, la fréquence d'occurrence d'une atmosphère explosive dépend uniquement de la fiabilité des systèmes et/ou dispositions de prévention.

Lorsque la fréquence d'occurrence d'une explosion dans un local est inférieure à quelques 10^{-8} /année. réacteur, il n'est a priori pas justifié de faire une évaluation des conséquences de l'explosion dans ce local. En ce qui concerne les locaux exclus, pour lesquels la fréquence d'occurrence d'une explosion interne serait égale à quelques 10^{-8} /année. réacteur, certaines justifications peuvent être mises en avant (conservatismes d'étude, enjeux sûreté...) afin de conforter l'acceptabilité d'une absence d'évaluation des conséquences.

2.4.2.3. ANALYSE DES CONSÉQUENCES D'UNE EXPLOSION INTERNE

L'analyse d'une explosion interne dans un local peut couvrir différents niveaux de réalisme, allant de la considération d'une fusion du combustible systématique à l'analyse détaillée des conséquences.

Dans le cas d'une analyse détaillée des conséquences d'une explosion interne dans un local, l'approche retenue consiste à déterminer les équipements perdus à la suite d'une explosion interne ainsi que les conséquences de la perte de ces équipements sur le fonctionnement de l'installation.

Le recensement des équipements perdus à la suite d'une explosion est réalisé selon la démarche et les règles d'étude établies pour les études de sûreté relatives à la prévention de l'explosion (voir section 3.4.6).

Connaissant les équipements perdus, les conséquences fonctionnelles de ces défaillances sont recherchées en vue d'identifier :

- Les défaillances qui engendrent un transitoire accidentel susceptible de mener à la fusion du combustible (événement initiateur),
- Les équipements nécessaires pour gérer le transitoire induit et qui sont affectés par l'explosion.

2.4.2.4. QUANTIFICATION

La fréquence de fusion du combustible est calculée à partir de l'EPS de niveau 1 adaptée pour prendre en compte les conséquences de l'explosion.

2.4.3. RÉSULTATS

La fréquence d'occurrence d'une atmosphère explosive dans une part significative des locaux de l'installation (Cf [Réf \[11\]](#)) complétée par la [Réf \[17\]](#)) est inférieure à 10^{-8} /année. réacteur. Pour ces locaux, une analyse des conséquences d'une explosion n'est donc pas justifiée.

Pour les autres locaux, la fréquence d'une atmosphère explosive varie entre []/année. réacteur et []/année. réacteur (Cf [Réf \[11\]](#)) complétée par la [Réf \[17\]](#) . Cependant, l'évaluation réalisée comporte des conservatismes et la fréquence d'explosion dans ces locaux est en réalité plus faible que les valeurs obtenues. Une analyse détaillée des conséquences d'une explosion n'est donc pas justifiée.

Une analyse simplifiée et conservatrice du risque lié à une explosion en Salle des Machines permet d'affirmer que ce risque est résiduel.

2.5. INCENDIE

2.5.1. MÉTHODOLOGIE DE L'EPS INCENDIE

La méthodologie « incendie » retenue pour la tranche EPR de Flamanville est inspirée des pratiques internationales, qui se déclinent en trois phases principales permettant de réaliser une analyse plus détaillée pour les compartiments de feu les plus critiques.

- La première phase se décompose en deux sous-parties :
 - Quantification des fréquences de départ de feu pour chacun des volumes de feu des bâtiments étudiés,
 - Analyse des conséquences fonctionnelles d'un incendie survenant dans chaque zone de feu (initiateur induit, disponibilité des systèmes support, etc.).
- La seconde phase consiste à quantifier le risque de fusion du combustible suite à un incendie dans les compartiments de feu sélectionnés à l'issue de la première phase, sur la base de l'EPS de niveau 1 de l'EPR, en considérant l'ensemble des matériels pertinents du compartiment de feu comme perdu.
- La troisième phase (non développée à ce stade de l'étude) analyse de façon détaillée les scénarios de propagation d'incendie dans les locaux les plus critiques, en prenant en compte la fiabilité des systèmes de lutte.

Les phases 1 et 2 de la méthodologie sont détaillées ci-dessous.

2.5.1.1. PHASE 1

La phase 1 de la méthodologie EPS incendie à la conception de l'EPR consiste à sélectionner, parmi l'ensemble des locaux de l'EPR, les zones de feu critiques qui feront l'objet d'une quantification précise lors de la seconde phase de l'EPS incendie. Ces zones de feu critiques sont sélectionnées sur les critères suivants :

- chaque zone de feu étudiée contient au moins un matériel (matériels de sauvegarde + systèmes supports) pris en compte dans l'EPS de niveau 1,
- chaque zone de feu étudiée peut générer :
 - soit l'occurrence d'un initiateur,
 - soit la perte d'un matériel nécessaire au passage ou au maintien en arrêt sûr du réacteur.

Le cumul d'un incendie avec un événement indépendant ou une agression indépendante n'est pas pris en compte.

Les fréquences de base des départs de feu sont calculées à partir des départs de feu répertoriés sur le parc nucléaire français en exploitation. Ces fréquences sont calculées par groupes (voire sous-groupes) de références, en fonction des caractéristiques techniques et fonctionnelles des composants, et dans chaque état du réacteur.

Une analyse fonctionnelle détaillée des conséquences d'un incendie survenant dans chaque zone de feu sélectionnée est ensuite réalisée. Cette analyse consiste à étudier les conséquences de l'incendie sur la disponibilité des systèmes et sur la tranche, pour identifier les initiateurs en découlant.

L'objectif de cette première phase est double :

- identifier les locaux où le risque de départ d'un incendie est le plus important,
- identifier les conséquences d'un incendie pour chaque compartiment de feu. Cette seconde étape doit permettre d'identifier les différents scénarios à étudier pour la seconde phase, dite phase de quantification.

2.5.1.2. PHASE 2

La deuxième phase doit permettre, pour chaque zone de feu retenue au cours de la première phase, d'évaluer de façon simplifiée la fréquence de fusion du combustible supplémentaire liée à un incendie survenant dans cette zone de feu. Cette évaluation est réalisée à partir du calcul successif des termes suivants :

- 1) *F1* : la fréquence d'un départ de feu dans la zone de feu.
- 2) *P2* : la probabilité conditionnelle de fusion du combustible suite à un incendie postulé dans la zone de feu considérée engendrant directement l'occurrence d'un initiateur EPS.
Le calcul des probabilités conditionnelles de fusion du combustible est réalisé, pour l'initiateur concerné, par la quantification des séquences de fusion du combustible en postulant :

□

La quantification des séquences de fusion du combustible est alors réalisée conformément à l'EPS de niveau 1. La probabilité conditionnelle de fusion est obtenue en calculant la somme des fréquences des séquences conduisant à la fusion du combustible.

Nota : Un incendie peut éventuellement être à l'origine d'un nouvel initiateur auquel cas, cet initiateur ainsi que les scénarios accidentels correspondants seront ajoutés à l'EPS.

- 3) *F2* : la fréquence globale de fusion du cœur liée à un incendie dans la zone de feu considérée :

$$F2 = F1 \times P2$$

- 4) *Résultat global*
L'ensemble des calculs présentés ci-dessus doit être effectué pour chaque initiateur et pour chaque état séparément. Les résultats généraux sont obtenus en sommant les différents résultats obtenus par état et par initiateur. En effet, le terme *F2* global (noté *F2_G*) est défini comme :

$$F2_G = \sum_{ij} (F1_{ij} \times P2_{ij})$$

□

2.5.2. RÉSULTAT DE L'EPS INCENDIE

L'évaluation probabiliste du risque lié à l'incendie a été réalisée conformément à la méthodologie décrite précédemment (phases 1 et 2 uniquement). Compte tenu des résultats disponibles, la phase 3 n'est actuellement pas jugée nécessaire. Les hypothèses générales et le résultat de cette EPS sont présentés ci-dessous.

2.5.2.1. DONNÉES D'ENTRÉE

Les fréquences de base des départs de feu ont été calculées à partir de l'analyse des incidents survenus sur le parc nucléaire en exploitation (paliers 900 et 1300 MWe et N4) depuis la mise en service industrielle (MSI) des tranches jusqu'au 31/12/2008.

Les bâtiments pris en compte sont les suivants :

- le bâtiment réacteur (BR),
- le bâtiment des auxiliaires nucléaires (BAN),
- le bâtiment combustible (BK),
- le bâtiment des diesels (BD),
- la station de pompage (SdP),
- la salle des machines (SdM),
- la plateforme d'évacuation de l'énergie (PEE-PAS),
- la salle de commande (SdC),
- les 4 divisions du bâtiment des auxiliaires de sauvegarde (BAS), qui comprennent les locaux électriques,
- le bâtiment électrique non classé (BLNC),
- les ouvrages de rejet et de pré-rejet,
- les galeries SEC et diesels,
- l'Espace Entre-Enceinte (HRB).

Les états de fonctionnement considérés sont les états standards de réacteur de A à F.

La quantification a été effectuée à partir de l'EPS de niveau 1. Elle concerne le risque de fusion du cœur en cuve et le risque de découverture des assemblages combustible en piscine de désactivation.

2.5.2.2. HYPOTHÈSES GÉNÉRALES

- Matériels pris en compte
Les matériels considérés pour la réalisation de cette EPS incendie sont les matériels modélisés dans l'EPS de niveau 1.
L'ensemble des matériels « actifs » recensés et installés dans chaque compartiment de feu étudié est considéré pour l'évaluation de la fréquence d'occurrence de départ de feu associée à ce compartiment. Les matériels passifs ne pouvant pas s'enflammer, ils ne sont pas comptabilisés dans la fréquence de départ de feu.
De plus, certains matériels sont écartés de l'analyse fonctionnelle car considérés comme non impactés par un incendie. Il s'agit principalement des éléments suivants : . Toutefois, dans la mesure du possible, les matériels « passifs » identifiés comme pouvant avoir des conséquences fonctionnelles ont été examinés.
- Propagation des incendies
- Facteur humain
Les modélisations utilisées pour l'EPS de niveau 1 sont appliquées à la conduite en salle de commande et aux interventions en local.

2.5.2.3. RÉSULTAT

Avec les hypothèses précédentes (Cf [Réf \[12\]](#), [Réf \[13\]](#), [Réf \[17\]](#) et [Réf \[18\]](#)) et pour l'ensemble des bâtiments cités au [§ 2.5.2.1.](#), la fréquence de fusion du cœur en cuve liée à l'incendie est évaluée à /année. réacteur et la fréquence de découverture des assemblages combustible en piscine de désactivation est évaluée à /année. réacteur.

2.6. INONDATION INTERNE

2.6.1. DOMAINE COUVERT

L'étude porte sur les bâtiments ci-dessous, et ce pour tous les états standards du réacteur :

- Bâtiment des auxiliaires nucléaires (BAN),
- Bâtiment combustible (BK),
- Bâtiments diesels (BD),
- Station de pompage (SdP),
- Salle des machines (SdM),
- les 4 divisions du bâtiment des auxiliaires de sauvegarde (BAS), qui comprennent les locaux électriques,
- le bâtiment électrique non classé (BLNC),
- l'ouvrage de rejet (OdR),
- les galeries SEC et diesels,
- l'Espace Entre-Enceinte (HRB).

2.6.2. MÉTHODOLOGIE DE L'EPS INONDATION INTERNE

La méthodologie de l'EPS inondation retenue pour la tranche EPR de Flamanville est basée sur les pratiques internationales, en particulier sur le document EPRI 1019194 pour ce qui concerne le domaine de couverture et est présentée dans la [Réf \[14\]](#).

2.6.2.1. FRÉQUENCES D'INONDATION

La méthode d'évaluation de la fréquence d'occurrence d'une inondation interne repose sur une analyse des sources potentielles d'inondation présentes dans le bâtiment.

Pour chacun des bâtiments du périmètre de l'étude, la fréquence d'inondation est alors calculée en utilisant les données du document EPRI 1013141, évaluant la fréquence de rupture des tuyauteries dans les bâtiments étudiés.

Cette étude prend de plus en compte les mises en service intempestives du système de lutte incendie ainsi que les erreurs humaines pré-accidentelles (maintenance, lignages). Les données retenues pour ces valeurs sont issues du retour d'expérience français, de la mise en service au 01/03/2002.

2.6.2.2. SCÉNARIOS D'INONDATION

Il est supposé qu'une inondation dans un bâtiment de l'EPR FA3 entraîne la perte totale du bâtiment considéré.

Quatre exceptions sont toutefois considérées :

□

2.6.2.3. QUANTIFICATION

L'analyse fonctionnelle de l'inondation a vérifié que les différents modes de défaillance pouvant être générés pour les équipements lors d'un incendie sont effectivement enveloppés des défaillances pouvant être générées par une inondation. Dans le cas contraire, les conséquences fonctionnelles propres à l'inondation interne ont été étudiées (voir [§ 2.6.2.2.](#)).

On détermine alors la probabilité conditionnelle de fusion du combustible à l'aide des résultats obtenus dans le cas du risque incendie. Cette probabilité conditionnelle est alors multipliée par la fréquence d'inondation du bâtiment étudié.

Le résultat obtenu est donc largement conservatif puisque l'on postule la perte de tout le bâtiment lors d'une inondation.

2.6.3. RÉSULTATS

Avec les hypothèses précédentes (Cf [Réf \[14\]](#), [Réf \[17\]](#), [Réf \[19\]](#) et [Réf \[20\]](#)) et pour l'ensemble des bâtiments cités au [§ 2.6.1.](#), la fréquence de fusion du cœur en cuve liée à l'inondation interne est évaluée à \square / année.reacteur et la fréquence de découvrement des assemblages combustible en piscine de désactivation est évaluée à \square / année.reacteur.

3. SYNTHÈSE

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats des évaluations réalisées. Il est à noter qu'en raison des différentes méthodes employées pour chaque étude (conservatismes, aspects long terme), il n'est pas pertinent de comparer les fréquences de fusion du combustible obtenues pour les différentes agressions.

| Agressions internes | Fréquence de fusion du combustible. (/a.r.) | Agressions externes | Fréquence de fusion du combustible. (/a.r.) |
|----------------------------|--|-----------------------------------|---|
| Missiles internes : | résiduelle sur la base d'une analyse qualitative | Séisme | ∅ |
| - missile turbine | | Chute d'avion | ∅ |
| - autres | | Risques industriels | résiduelle |
| Chutes de charges | résiduelle | Inondation externe | résiduelle |
| Explosion interne | résiduelle | Condition climatiques extrêmes : | résiduelle couvert par l'EPS de niveau 1 et l'EPS long terme résiduelle exclus résiduelle sur la base d'une analyse qualitative |
| Incendie (BR+BK) | ∅ | - canicule, sécheresse | |
| Inondation interne (BR+BK) | ∅ | - neige et vent | |
| | | - grands froids | |
| | | - frasil | |
| | | - prise en glace | |
| | | Foudre | |
| | | Cumul PSF-MDTE long terme (BR+BK) | ∅ |
| Total | ∅ | Total | ∅ |
| Total | | ∅ | |

Les résultats de l'évaluation effectuée sont conformes aux cibles probabilistes liées au risque de fusion du combustible définies dans le sous-chapitre 18.0 :

- Pour les agressions externes, la fréquence globale de fusion du combustible est inférieure à ∅/a.r., compte tenu des conservatismes inhérents à l'évaluation de ce risque.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 18

SECTION 3

PAGE 23/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

- Pour tous les événements autres que les initiateurs internes chaudière et les agressions externes, ce qui intègre notamment les agressions internes, la fréquence globale de fusion du combustible est inférieure à $\frac{1}{10}$ /a.r.

LISTE DES REFERENCES

- [1] D305914008235 A – « Evaluation du risque sismique sur EPR Flamanville 3 par une approche probabiliste simplifiée ».
- [2] GTR/EDF/1113-1122 – Rapport GEOTER 2014 – « Probabilistic seismic hazard assessment for the Flamanville nuclear plant »
- [3] CR-188/06/010 – « Probabilité de dépassement de différentes températures à Flamanville » - EDF R&D.
- [4] ECESN141046 – « Fiche réponse ASN – Action A - Autres Agressions 4 »
- [5] ENSNEA040103 B – « référentiel canicule EPR ».
- [6] ENFCFF100026 A – « Etude probabiliste long terme des situations de vents extrêmes conduisant à la perte totale des alimentations électriques externes et de la station de pompage de l'EPR FA3 ».
- [7] ECESN120898 – « EPR FA3 – Commentaires d'EDF sur le projet de fiche technique IRSN de référence PSN-SRDS 2012-00059 ».
- [8] ENFCFF050208 C – « Réévaluation et adaptation des fréquences des événements internes de l'EPS EPR de réalisation ».
- [9] ENGSIN090255 A – « Synthèse des études de fiabilité réalisées pour le pont polaire FA3 vis-à-vis du risque de chute de charge ».
- [10] D305914012427 A – « Méthode pour l'évaluation du risque lié à l'explosion interne sur FA3 ».
- [11] ENFCFF110013 B – « EPS EPR FA3 – Synthèse de l'évaluation du risque lié à l'explosion interne sur FA3 ».
- [12] ENFCFF100003 C – « EPS EPR FA3 – Synthèse de l'évaluation du risque de fusion du cœur induit par incendie ».
- [13] ENFCFA120165 A – « EPS EPR FA3 – Synthèse de l'évaluation du risque de découvrément des assemblages combustibles en piscine de désactivation induit par incendie »
- [14] D305913008527 A – « EPS EPR FA3 - Synthèse de l'EPS Inondation interne de FA3 »
- [15] D305214050161 A – « Analyse qualitative des températures de la station de pompage et de l'ouvrage de rejet dans le cas d'hiver en deçà des températures de dimensionnement site
- [16] ECESN140192 – « EPR FA3 – Groupe permanent Réacteur du 30 janvier 2014 relatif aux EPS de niveau 1 – Positions et Actions d'EDF »
- [17] D305914012339 [B]- « Représentativité des EPS agressions FA3 vis-à-vis de l'état de l'installation DMES»
- [18] AE&OS53701NT017 [01] - « EPS EPR FA3 - Evaluation du risque de fusion du coeur induit par un incendie dans l'Espace Entre-Enceinte »



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 18

SECTION 3

PAGE 25/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

[19] D305914009365 [A] - « EPS EPR FA3 – Synthèse de l'évaluation du risque d'inondation interne dans l'espace Entre-Enceinte HRB »

[20] D305914004382 [B] - « EPS inondation interne FA3 – Etude du scénario de vidange de l'IRWST suite à rupture RIS »

FIG-18.3.1 COURBES D'ALÉA SISMIQUE RÉGIONAL CALCULÉES POUR LE SITE DE FLAMANVILLE

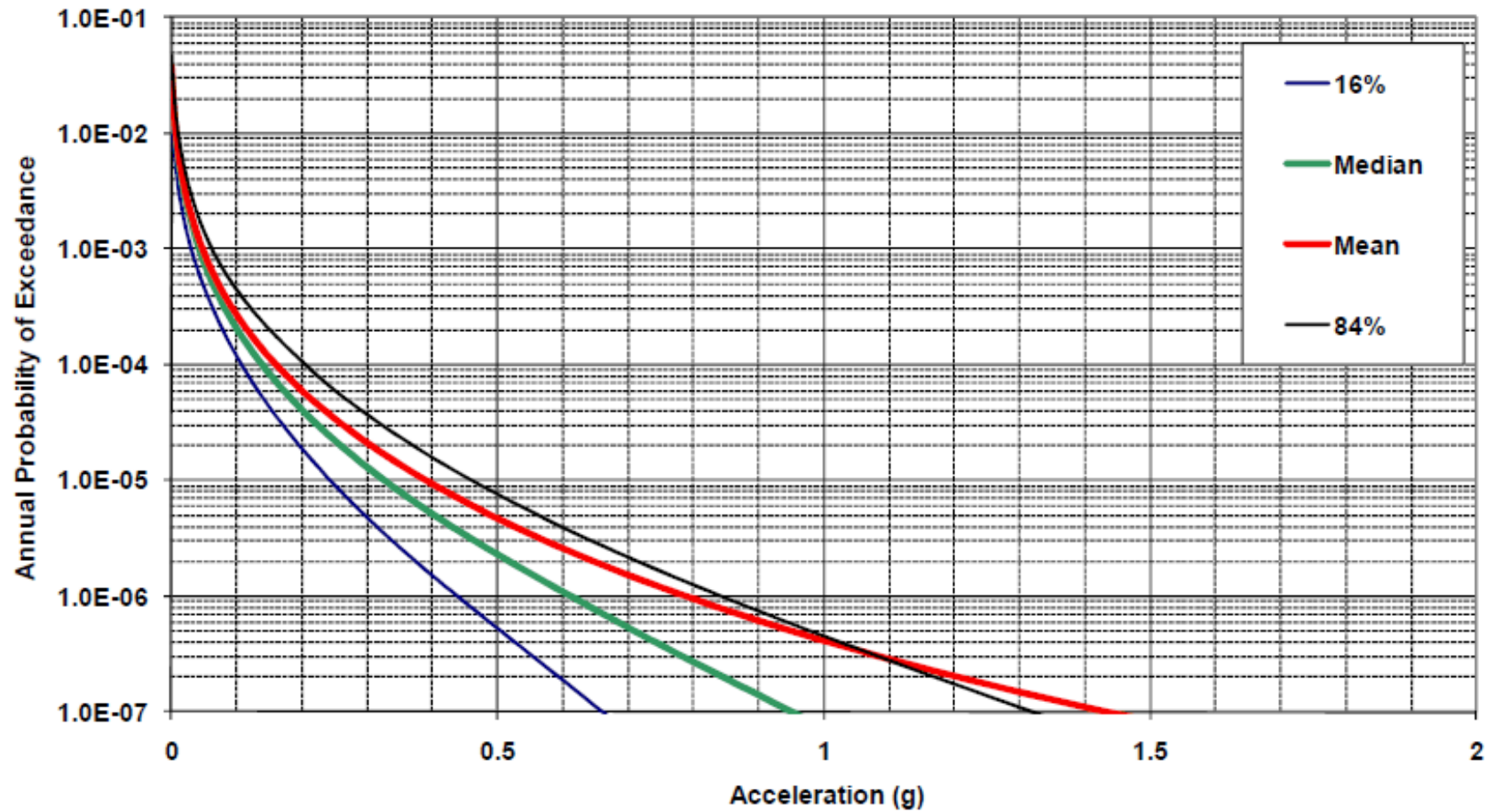


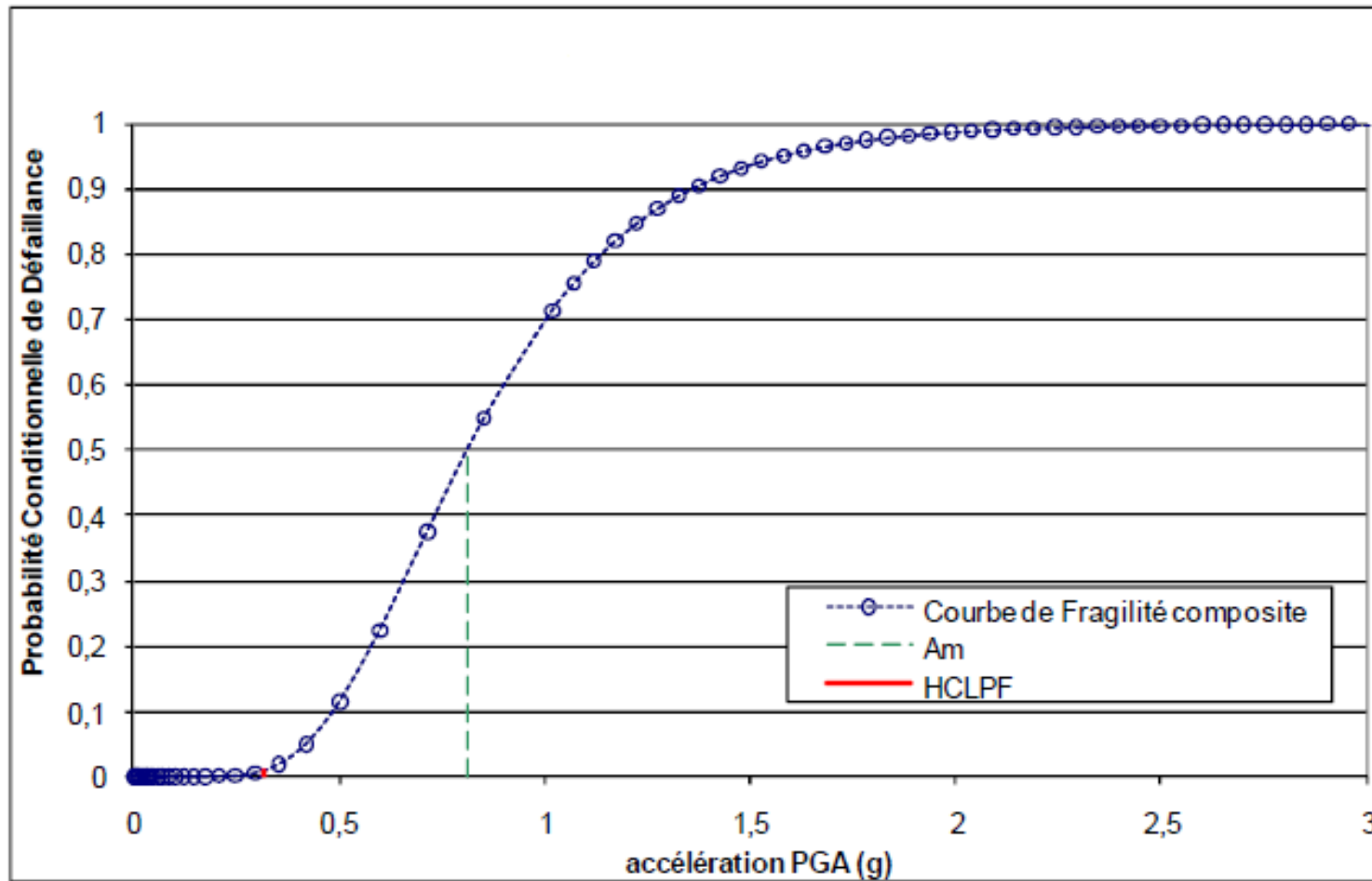
FIG-18.3.2 COURBE DE FRAGILITÉ GLOBALE DE L'INSTALLATION


FIG-18.3.3 COURBE DE RISQUE CUMULÉ DE FUSION DU COMBUSTIBLE LIÉ À L'OCCURRENCE D'UN SÉISME

