



DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE  
SERVICE ETUDES ET PROJETS  
THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

SEPTENA : CAPE CP :  
CC : AM FC PC PJC PR SFPBUGEY TL 1



N06D0039186 30/03/2006

## BORDEREAU DE DIFFUSION

Diffusé le (voir code barres ci-dessus)

Référence du document diffusé : ENPRTL050126

Page : 1/1

Titre du document diffusé : Transfert des connaissances APRP BI

Emetteur : AUDE P.

Poste : 52 72 73

Entité émettrice : PR / TL

Suite à donner : "f" pour action, "o" pour info.

Nombre de copies du bordereau seul  
Nombre de documents complets ou partiels

Diffusion Septen	Commentaire			
M. POUGET ABADIE (D/EM)	Document complet	1		o
M. PAYAN B. (DP)	Document complet	1		o
M. PERMEZEL P. (PJC)	Document complet	1		o
M. FERRARO G. (FC)	Document complet	1		o
M. LE-MOAL G. (FC)	Document complet	1		o
Mme. FERRIER A. (PR)	Document complet	1		o
Mme. MOULIN V. (PC)	Document complet	1		o
M. MUSELLEC P.Y. (PR/TL)	Document complet	1		o
M. GUIGUES B. (PR/TR)	Document complet	1		o
M. GOY L. (PR/TL)	Document complet	1		o
Mme MASSOULIER C., M. MONNIER P. (PR/TL)	Document complet	2		o
M. VACHER J.L. (PR/TR)	Document complet	1		o
Ingénieur rédacteur	Document complet	1		o

Diffusion EDF :	Commentaire			
M. BENZIDAN T. (DPN/CAPE/GAP)	Document complet	1		o
M. JAUTZY D. (DPN/CAP/GSN)	Document complet	1		o
Mme. MANIAS V. (SFP/Bugey)		1		

*En'c MORANGE / GAMMA-SEPTEN*

Diffusion hors EDF :	Commentaire			

Nombre total de documents (partiels et complets) :

17

Nombre total de copies du bordereau seul :

0

SEPTENA : FDU  
CC :

CP :



N0710007593 30/03/2006

Archivé au FDU : OUI (avec le document diffusé)



Approbateur		
Nom	Date	Visa
Mme FERRIER A.	30/03/2006	<i>CF</i>

SEPTEN



**DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE**  
 SERVICE ETUDES ET PROJETS  
 THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

SEPTENA: CAPE CP:  
 CC: AM FC PC PJC PR SFPBUGEY TL  
 F  
 N06D0039186 30/03/2006

Diffusé le : Voir code barres ci-dessus  
 Réf. : ENPRTL050126

Entité émettrice : Physique des Réacteurs (PR)

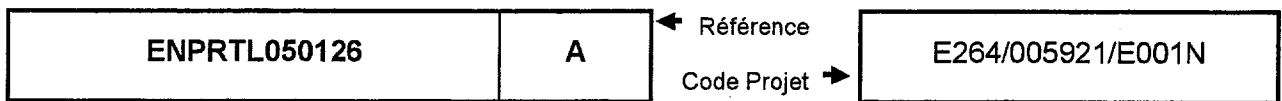
Rédacteur : AUDE P.

Nbre de pages : 24

Domaine d'application : Tous paliers

Nbre d'annexes : 4

Titre : **Transfert des connaissances APRP BI**



Type de document : **Note**

Mots clés : Synthèses d'études, Brèches Intermédiaires

Résumé : Ce document constitue une synthèse des connaissances concernant les Accidents de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) de type Brèches Intermédiaires (BI).

Diffusion : Par bordereau.

Rédacteur		Vérificateur		Approbateur	
Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa
P. AUDE 27/03/2006	<i>[Signature]</i>	P.Y. MUSELLEC 28/03/2006	<i>[Signature]</i>	A. FERRIER 30/03/2006	<i>[Signature]</i>

**Evolutions des trois derniers indices**

Indice	Date d'approbation	Motif du changement d'indice	Modifications apportées

Dossier : NON

Prédiffusion effectuée : OUI

Elaboré sous AQ : OUI  
 Archivage long : NON  
 Confidentiel : L'initiateur établit une liste nominative des destinataires. Chacun d'eux reçoit un exemplaire numéroté et ne peut étendre la diffusion sans l'accord de l'initiateur.  
 Dif. Restreinte : L'initiateur établit une liste explicite des destinataires. Le chef de service d'un destinataire peut étendre la diffusion sous sa responsabilité et dans sa Direction (sur la base d'une liste explicite).  
 Accès E.D.F : Ne peut être transmis à l'extérieur d'EDF que par un chef de service.  
 Accès libre : Document public.

SEPTEN

## Transfert des connaissances APRP BI

**SOMMAIRE**

<b>1. Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Présentation de l'accident.....</b>	<b>3</b>
2.1 Initiateurs .....	3
2.2 Risques associés .....	3
2.3 Critères de sûreté.....	4
2.4 Impacts sur la conception et l'exploitation des tranches .....	4
<b>3. Description physique du transitoire .....</b>	<b>5</b>
3.1 APRP BI avec arrêt des GMPP à l'AAR et sans action opérateur .....	5
3.1.1 Dépressurisation monophasique initiale .....	5
3.1.2 Atteinte des conditions de saturation dans les parties chaudes .....	5
3.1.3 Palier GV et formation de vide avant stratification.....	6
3.1.4 Passage de la brèche en vapeur.....	6
3.1.5 Reprise de la dépressurisation suite au passage de la brèche en vapeur .....	6
3.1.6 Premier découvrement cœur .....	7
3.1.7 Injection des accumulateurs et remplissage du primaire .....	7
3.1.8 Stabilisation finale de la pression primaire.....	7
3.1.9 Atteinte de l'état sûr .....	7
3.2 Spécificités du palier 900 MWe .....	7
3.3 Impact de la taille de brèche sur le déroulement du transitoire.....	7
3.4 Impact de l'arrêt différé des GMPP au cours du transitoire.....	8
3.4.1 Historique de l'étude de l'arrêt différé des GMPP au cours du transitoire .....	8
3.4.2 Impact de l'arrêt différé des GMPP sur la physique du transitoire .....	8
3.5 Actions opérateurs durant un APRP BI.....	9
3.6 Paramètres clés du transitoire thermohydraulique.....	9
3.6.1 Paramètres clés gouvernant la vidange du primaire.....	9
3.6.2 Paramètres clés gouvernant la redescente de l'eau dans la cuve .....	9
3.6.3 Paramètres clés gouvernant le niveau gonflé dans le cœur .....	10
3.6.4 Echauffement des gaines du combustible.....	10
<b>4. Etudes du Rapport de Sûreté .....</b>	<b>11</b>
4.1 Règles d'études d'accident .....	11
4.1.1 APRP BI de 4 <sup>ème</sup> catégorie.....	11
4.2 Actions opérateur.....	12
4.3 Méthodologie d'étude .....	12
4.4 Synthèses des études APRP BI de 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> catégorie.....	13
<b>5. Dossiers connexes .....</b>	<b>14</b>
<b>6. Références .....</b>	<b>14</b>
<b>Figures.....</b>	<b>17</b>
<b>Annexes</b>	

**Transfert des connaissances APRP BI****1. Introduction**

L'objectif de ce document est de présenter le comportement du réacteur face à un transitoire d'APRP suite à l'apparition d'une brèche intermédiaire sur la tuyauterie primaire et ce quel que soit le palier. Ce document décrit d'abord brièvement les initiateurs et les risques associés à cet accident avant de présenter les différentes phases du transitoire pour mettre en relief les événements majeurs qui s'y déroulent et les phénomènes physiques qui les caractérisent. Une synthèse des différents paramètres clés qui influencent de manière significative le déroulement de l'accident est ensuite proposée. Cette présentation fait également le lien avec les actions opérateur préconisées et leur utilité pour maîtriser les conséquences de l'accident. Enfin, les études APRP BI du Rapport de Sécurité sont présentées ainsi qu'une synthèse des résultats obtenus pour chacun des paliers. On trouvera en Annexe C un point sur les dossiers connexes.

**2. Présentation de l'accident**

L'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) de type Brèches Intermédiaires (BI) constitue une défaillance de la deuxième barrière avec un risque potentiel de dégradation ou de destruction de la première barrière et de rejet dans l'enceinte de substances radioactives dispersées dans le circuit primaire.

**2.1 Initiateurs**

L'initiateur est une brèche sur une boucle du circuit primaire. On exclut de cette note les brèches localisées sur la cuve (ruptures de piquages d'instrumentation en fond de cuve ou de mécanismes de commande de grappes sur le couvercle de cuve) et sur les tubes des générateurs de vapeur, car elles relèvent d'études spécifiques.

Les transitoires d'APRP présentés dans ce document sont consécutifs à des « brèches intermédiaires », c'est-à-dire de diamètre équivalent de brèche variant de 2,54 cm (1 pouce) à 34,5 cm (13,5 pouces).

Pour les brèches de taille inférieure à 1 pouce, l'ISHP/MP compense le débit brèche évitant tout découverture du cœur. Pour les brèches de taille supérieure à 13,5 pouces, les phénomènes physiques deviennent caractéristiques des APRP Grosses Brèches (GB) et diffèrent nettement de ceux rencontrés en APRP BI.

**2.2 Risques associés**

Un APRP BI provoque la perte d'intégrité de la seconde barrière et se traduit pour la tranche par :

- une sollicitation mécanique qui peut endommager les composants du circuit primaire et ses dispositifs de supportage,
- un transitoire thermohydraulique de vidange du circuit primaire qui peut entraîner au niveau du cœur du réacteur un dénoyage au moins partiel, voire des ruptures de gaine combustible (risque de perte d'intégrité de la première barrière). C'est ce transitoire qui fait l'objet de la note,
- la montée en pression et température de l'enceinte de confinement (risque d'endommagement de la troisième barrière),
- des conséquences radiologiques : fuites suite à la dispersion de substances radioactives dans l'enceinte.

**Transfert des connaissances APRP BI**

La corrélation entre ces différents effets, ainsi que leurs amplitudes dépendent fortement du type, de la localisation et de la taille de la brèche.

**2.3 Critères de sûreté**

Lors d'un APRP, les exigences de sûreté imposent de vérifier le respect de critères de sûreté dépendant de la classe d'accident.

Pour les APRP BI, les deux critères cœur à respecter prioritairement sont la température maximale de gaine ( $\leq 1204^{\circ}\text{C}$ ) et l'oxydation ( $\leq 17\%$  de l'épaisseur initiale de gaine), qui garantissent la non fragilisation de la gaine lors de la trempe (et donc la conservation de la géométrie du cœur).

L'Annexe A présente tous les critères pour les conditions de fonctionnement de 4<sup>ème</sup> catégorie.

**2.4 Impacts sur la conception et l'exploitation des tranches****2.4.1 Conception initiale**

Le dimensionnement initial du réacteur prend en compte les APRP. La conception est réalisée avec des critères de découplage qui ont pour but de construire un réacteur avec des marges pour l'exploitation à venir.

A la conception, l'APRP contribue au dimensionnement du système d'injection de secours RIS.

L'APRP Grosse Brèche participe au dimensionnement des capacités du système RIS Basse Pression, des accumulateurs, de l'EAS, du RRI/SEC.

Les Petites Brèches (PB) primaires participent au dimensionnement des capacités du système RIS Haute ou Moyenne Pression : il est conçu pour compenser directement avec une seule file en service les petites brèches dont la taille n'excède pas un pouce (2,54 cm) de diamètre. Les très petites brèches (3/8 de pouces sur le 900 MWe, 0,47 pouces environ sur les 4 boucles) sont directement compensables par le RCV.

Pour les paliers 1300 MWe et N4, les APRP Brèches Intermédiaires participent au dimensionnement du système RIS Moyenne Pression : il est conçu pour limiter avec une seule file en service le pic de température de gaine à  $900^{\circ}\text{C}$  pour des brèches jusqu'à 4 pouces de diamètre (10,16 cm). On vérifie de plus que les débits injectés par 1 ISMP + 1 ISBP assurent une vitesse de renoyage du cœur d'au moins 1 pouce/seconde pour une brèche de 10 pouces. Les APRP BI interviennent aussi dans la vérification du bon recouvrement des moyens d'injection (continuité entre l'ISMP, les accus et l'ISBP).

**2.4.2 Exploitation**

Pour le 900 MWe, l'APRP BI a participé à la révision des capacités des accumulateurs (sur-remplissage des accumulateurs cf. Annexe C). De plus, pour tous les paliers, les études d'APRP BI contribuent aussi à assurer la cohérence entre les actions demandées par les procédures de conduite APE et le dimensionnement des matériels.

Les APRP BI et GB sont dimensionnants vis-à-vis de la puissance linéique maximale admissible en fonctionnement normal (limite APRP de la puissance linéique avec alarme sur site). Ils participent aussi à la définition de seuils de différents signaux de protection du réacteur (AAR, BPP, RFTC...).

Pour l'exploitation, les Règles Générales d'Exploitation (RGE) prévoient, en situation accidentelle, des prescriptions de conduite :

**Transfert des connaissances APRP BI**

- o arrêt des GMPP,
- o actions de refroidissement par le secondaire (GV) via les GCT-a,
- o isolement des accumulateurs pour limiter l'injection d'azote des accumulateurs,
- o basculement en injection simultanée (BF+BC),
- o contrôle de la concentration en bore dans le cœur à long terme,
- o dispositif de secours mutuel RIS/EAS à 15 jours : H4 - U3 (post-TMI).

### 3. Description physique du transitoire

La description d'un transitoire BI est réalisée sur la base d'une brèche primaire en branche froide située sur la génératrice inférieure. Cette localisation correspond au cas pénalisant de la famille APRP BI du point de vue des conséquences thermohydrauliques sur le cœur : elle entraîne la perte à la brèche du débit RIS (IS et accumulateur) en boucle rompue, maximise le débit perdu à la brèche et retarde le passage de la brèche en vapeur. Ces brèches conduisent aux températures de gaines du combustible maximales.

La description physique s'effectue sur la base d'une taille de brèche de 4 pouces (10,16 cm) de diamètre. L'impact de la taille de brèche sur le déroulement du transitoire est discuté au § 3.3.

#### 3.1 APRP BI avec arrêt des GMPP à l'AAR et sans action opérateur

Les GMPP s'arrêtent à l'AAR (configuration de type Manque De Tension Externe du Rapport de Sûreté). Le transitoire se déroule de manière libre et sans action de conduite.

L'impact du fonctionnement des GMPP est discuté au § 3.4. et les actions opérateur sont abordées au § 3.5.

Les Figures 1 et 2 illustrent les principales étapes du transitoire décrites ci-dessous et le Tableau 2 résume sa chronologie.

##### 3.1.1 Dépressurisation monophasique initiale

L'ouverture de la brèche entraîne la dépressurisation du circuit primaire. Cette phase correspond à la vidange du pressuriseur.

L'atteinte du seuil de basse pression primaire (signal AAR) déclenche la chute des grappes et l'arrêt de la puissance nucléaire. L'atteinte du seuil de très basse pression primaire (signal IS) entraîne le démarrage de l'injection de sécurité.

Le déclenchement turbine consécutif à l'AAR entraîne une montée de la pression secondaire jusqu'à l'atteinte de la valeur de tarage des organes de décharge (GCT-a) ou des soupapes de sûreté des GV.

Après l'arrêt complet des GMPP, la circulation naturelle s'établit (thermosiphon monophasique).

##### 3.1.2 Atteinte des conditions de saturation dans les parties chaudes

Lorsque le pressuriseur est vide, la vidange monophasique se poursuit par celle du circuit primaire lui-même, jusqu'à ce que la baisse de pression correspondante conduise à l'atteinte des conditions de saturation dans les parties les plus chaudes du circuit. La production de vapeur due à l'ébullition dans ces zones ralentit alors fortement la dépressurisation du primaire.

**Transfert des connaissances APRP BI**

La brèche toujours alimentée en liquide ne permet pas d'évacuer la puissance résiduelle du cœur, et la dépressurisation s'arrête tandis que la vidange du circuit primaire se poursuit.

**3.1.3 Palier GV et formation de vide avant stratification**

La circulation naturelle double phase s'établit (thermosiphon diphasique). Le taux de vide augmente dans les parties montantes des GV et en haut des épingles. Quand la circulation d'ensemble n'est plus possible (le franchissement continu du haut des épingles GV s'interrompt), la séparation complète des phases s'établit. La vidange stratifiée affecte les parties montantes et descendantes des tubes GV. Un contre-courant liquide-vapeur apparaît dans les branches chaudes et parties montantes des tubes GV (caloduc).

Pendant ces phases de thermosiphon puis de caloduc, la brèche continue de perdre de l'eau liquide. L'évacuation de la puissance résiduelle du cœur est assurée majoritairement par les GV. En effet, tant que le débit brèche est monophasique liquide, le débit énergétique à la brèche est insuffisant pour évacuer toute la puissance générée par le cœur et transmise au primaire. Le complément est évacué par le secondaire (GV).

Afin de conserver un échange direct du primaire vers le secondaire, la température primaire doit rester supérieure à la température secondaire. Or, tant que l'on est à saturation dans les deux circuits, cela se traduit par une pression primaire stabilisée au-dessus de la pression secondaire. C'est le palier de pression, encore appelé « palier GV » (cf. Figure 1).

Durant cette phase, le bilan énergétique est juste équilibré entre puissance résiduelle et puissance évacuée. La perte de masse du circuit primaire se poursuit, car le système RIS ne compense pas le débit massique perdu à la brèche. Le bilan massique au primaire reste déficitaire.

**3.1.4 Passage de la brèche en vapeur**

La poursuite de la vidange du primaire stratifié provoque la diminution du niveau dans la partie descendante des branches en U. Un bouchon d'eau reste alors emprisonné dans les branches intermédiaires de chaque boucle. Ce bouchon d'eau constitue un obstacle à l'écoulement de la vapeur produite au niveau du cœur vers la brèche.

Pour que la brèche puisse passer en phase vapeur, il faut que le passage soit libre entre le cœur et la brèche, ce qui ne sera possible qu'après l'expulsion du bouchon d'eau dans la boucle primaire rompue (cf. Figure 3).

Dans les instants qui précèdent l'expulsion du bouchon d'eau, une baisse de niveau peut alors affecter la cuve et mener à une brève excursion de température des crayons combustibles dans la partie dénoyée, d'amplitude faible et très en deçà du critère de sûreté.

Après expulsion du bouchon d'eau, le passage est libre pour la vapeur entre le cœur et la brèche : celle-ci passe alors en phase vapeur.

**3.1.5 Reprise de la dépressurisation suite au passage de la brèche en vapeur**

A partir de l'instant où la brèche passe en vapeur, le bilan volumique du primaire entre la production par la puissance résiduelle et l'évacuation par la brèche (en complément de la condensation sur les tubes GV) est nettement modifié. Le volume laissé à la vapeur étant toujours le même, de la vapeur se forme en permanence pour prendre la place de celle qui est évacuée à la brèche. La formation permanente de vapeur et son évacuation continue par la brèche contribuent alors à augmenter nettement la puissance extraite du primaire. La dépressurisation du primaire reprend, et la pression primaire « décroche » de la pression secondaire.

L'impact du passage de la brèche en vapeur est bénéfique sur le bilan de masse, puisque la masse perdue en vapeur devient bien plus faible. Parallèlement, la dépressurisation

**Transfert des connaissances APRP BI**

contribue aussi à améliorer le bilan de masse puisque la diminution de pression s'accompagne d'une réduction du débit à la brèche (débit critique) et d'une augmentation du débit injecté par le RIS.

**3.1.6 Premier découverture cœur, gouverné par la réduction de l'inventaire en eau**

La masse primaire décroît plus lentement mais le débit injecté par le RIS peut rester encore insuffisant pour compenser le déficit d'inventaire en eau dans la cuve et conduire au premier découverture du cœur.

**3.1.7 Injection des accumulateurs et remplissage du primaire**

L'atteinte de la pression d'injection des accumulateurs se traduit par une augmentation conséquente du débit injecté dans le primaire, et par une remontée immédiate de la masse totale primaire, accompagnée d'un renoyage du cœur et d'un retour à saturation des températures des crayons, précédemment surchauffés.

**3.1.8 Stabilisation finale de la pression primaire**

La dépressurisation se poursuit ensuite jusqu'à l'atteinte du seuil de refoulement des pompes ISBP. La baisse continue de pression primaire provoque une baisse du débit brèche et donc une baisse de la puissance extraite. La chute de pression va donc s'arrêter lorsque le bilan d'énergie cessera d'être excédentaire et redeviendra juste équilibré entre production et évacuation de puissance.

Lors du palier de stabilisation finale, le bilan d'énergie est satisfait, de même que le bilan de masse. On peut assister cependant en fin de transitoire à des passages du débit brèche alternativement en liquide et en vapeur, qui se traduisent par des oscillations de débit massique. La pression primaire quant à elle évolue relativement peu en amplitude en comparaison des variations de débit brèche. On est en phase de débordement de la cuve dans les boucles. Le niveau cuve reste correctement stabilisé.

**3.1.9 Atteinte de l'état sûr.**

La stabilisation finale de la pression primaire étant atteinte, les circuits RIS – EAS continuent de fonctionner pour assurer l'évacuation de la puissance résiduelle. Les actions de conduite permettent de s'affranchir du risque de cristallisation du bore autour des crayons (basculement en injection simultanée BC/BF) ou de dilution dans les puisards pouvant conduire à un retour en criticité (c'est l'APRP Long Terme). Cette phase correspond à la fin de l'APRP et à l'atteinte de l'état sûr.

**3.2 Spécificités du palier 900 MWe**

Le palier 900 MWe (CP0 et CPY) présente la particularité d'une discontinuité en pression des domaines d'injection des accumulateurs et de l'ISBP (cf. Figure 4). Pour certaines tailles de brèche (entre 4 et 8 pouces), les accumulateurs peuvent être vides ou isolés (selon les critères de la conduite sur Ncuve) vers 15 bars au plus tard, tandis que la pression de refoulement des pompes de l'ISBP se situe autour de 8 bars. Dans cet intervalle de pression, un deuxième découverture du cœur peut avoir lieu (cf. Figure 2).

**3.3 Impact de la taille de brèche sur le déroulement du transitoire**

La phase de dépressurisation monophasique initiale (§ 3.1.1) est liée à la perte de masse du circuit primaire. Elle est donc d'autant plus rapide que la taille de brèche est importante. Sa durée est comprise entre plusieurs dizaines de secondes pour les plus petites brèches à quelques secondes pour les plus grosses brèches intermédiaires.



**Transfert des connaissances APRP BI**

La durée du palier GV (§ 3.1.3) est liée au temps de passage de la brèche en phase vapeur. Ce passage se produit pour un inventaire en masse du circuit primaire globalement à peu près toujours identique. Il nécessite de vidanger les parties hautes du circuit. Si le niveau de pression du palier GV est indépendant de la taille de la brèche, le temps de vidange du circuit, lui, en dépend directement. Plus la brèche est importante, plus le déficit en masse devient important et plus le passage en phase vapeur est rapide, donc plus le palier GV est court.

La dépressurisation du primaire suite au passage de la brèche en phase vapeur est liée à la taille de la brèche (§ 3.1.5). L'énergie extraite à la brèche dépend du débit qui, à pression primaire identique, est d'autant plus important que la brèche est importante. La vitesse de dépressurisation devient plus élevée pour des brèches plus importantes.

**3.4 Impact de l'arrêt différé des GMPP au cours du transitoire****3.4.1 Historique de l'étude de l'arrêt différé des GMPP au cours du transitoire**

Les études APRP BI des premiers RdS du 900 MWe ont été menées en considérant uniquement l'arrêt des GMPP à l'AAR.

Suite à l'accident de Three Miles Island en 1979, des études avec arrêt différé des GMPP ont été entreprises à partir de 1983 sur les paliers 900 MWe. Elles ont montré qu'il existe une fenêtre temporelle d'arrêt des GMPP fonction de la taille de brèche pour laquelle les cas avec arrêt différé des GMPP sont plus pénalisants que les cas « arrêt des GMPP à l'AAR » et « maintien en fonctionnement des GMPP ». Ces résultats d'étude ont eu des répercussions dans les procédures de conduite et sur les études APRP BI qui ont suivi.

Les études pour la gestion combustible GARANCE en 1991 ont donc été les premières à tenir compte de ces configurations d'arrêt différé des GMPP, c'est-à-dire en recherchant le couple pénalisant (taille de brèche ; instant d'arrêt des pompes) en complément des études classiques de l'arrêt des GMPP à l'AAR.

Il faut noter que dans les études, l'arrêt des GMPP n'est pas lié à une action opérateur. En effet, en l'absence de démonstration complète montrant que les pompes vont continuer à assurer leur fonction (non qualifiées pour un fonctionnement en ambiance très dégradée) ou l'absence de risque qu'une chaîne de protection automatique (non classée) puisse les arrêter (température des paliers moteurs, vibration de l'arbre...), on considère l'arrêt des GMPP possible à n'importe quel instant.

**3.4.2 Impact de l'arrêt différé des GMPP sur la physique du transitoire**

Les GMPP maintenus en fonctionnement donnent de la vitesse au fluide et le mélange liquide-vapeur est donc homogène (taux de vide uniformément réparti dans le circuit primaire). La vidange du circuit primaire demeure alors constante et progressive. Même si l'inventaire primaire est très dégradé, le cœur baigne dans une émulsion à très fort taux de vide et aucune excursion de température n'apparaît car la convection forcée diphasique (écoulement en bulles le long des gaines) assure une très bonne évacuation de la puissance des crayons combustible.

Les cas avec arrêt différé des GMPP conduisent en revanche à des vidanges primaires plus importantes que si les GMPP s'arrêtent à l'AAR ainsi qu'à des dénoyages cœur profonds. Ces dénoyages cœur sont consécutifs à l'arrêt différé des GMPP qui provoque la stratification brutale de l'eau liquide dans les parties basses du circuit, alors que l'inventaire primaire est déjà dégradé. La durée de ces dénoyages peut cependant être limitée par une diminution de la pression primaire : une fois le niveau cœur tassé très bas (découvrement profond), la réduction de la production de vapeur accélère la dépressurisation jusqu'à

**Transfert des connaissances APRP BI**

l'atteinte des accumulateurs. La vidange progressive de l'eau piégée dans le couvercle vers la cuve peut aussi contribuer à réduire la durée de ces dénoyages.

Ces deux phénomènes antagonistes (découvrement profond et durée de dénoyage) font qu'il existe, pour chaque taille de brèche, un intervalle critique de temps d'arrêt des GMPP conduisant à des températures de gaine nettement plus élevées que dans les cas d'un arrêt immédiat des GMPP.

Avec un temps opérateur de 20 mn, l'intervalle critique de temps d'arrêt est compris entre 8 et 12 mn environ après l'AAR pour le 900 MWe (arrêt différé d'1 GMPP, les 2 autres GMPP étant arrêtés par l'automatisme cf. § 4.1.1.2), entre 12 et 17 mn environ après l'AAR pour le 1300 MWe (cf. Figure 8) et entre 12 et 19 mn environ après l'AAR pour le N4 (arrêt différé de 4 GMPP sur les 4 boucles). L'injection des accumulateurs qui met fin à l'excursion de température de gaine intervient 200 s environ après l'instant d'arrêt des GMPP.

**3.5 Actions opérateurs durant un APRP BI**

L'objectif est de rejoindre l'état sûr sur ISBP. Pour cela, l'opérateur :

- dépressurise par refroidissement sur les GV (et ouvre les LDP sur critères APE),
- procède à l'isolement des accumulateurs, dans la mesure du possible, pour éviter l'envoi d'azote dans le circuit primaire (cf. Figure 5 et Annexe C § C.1.1.3),
- arrête les GMPP sur un critère de Ncuve.

L'annexe D donne plus de détails sur les principales actions de conduites demandées par les procédures accidentelles de l'Approche Par Etats (APE).

**3.6 Paramètres clés du transitoire thermohydraulique**

Du point de vue des conséquences sur le cœur du réacteur, les paramètres clés du transitoire peuvent être regroupés suivant leur influence sur quatre phénomènes physiques dominants en APRP BI (réf [1]) : la vidange du primaire, la redescente de l'eau dans la cuve, le tassement dans le cœur et les transferts de chaleur dans ce dernier.

**3.6.1 Paramètres clés gouvernant la vidange du primaire**

La vidange du circuit primaire détermine la masse primaire résiduelle. Celle-ci est fonction

- o des caractéristiques de la brèche (la taille, la position et l'orientation de la brèche pour le calcul du débit) ainsi que des corrélations de calcul de débit critique,
- o du fonctionnement des GMPP qui conditionne le terme de perte à la brèche et des caractéristiques dégradées des GMPP en diphasique,
- o de la puissance résiduelle qui influence la production de vapeur de la partie encore noyée du cœur (également le profil axial de puissance cœur moyen),
- o de la condensation éventuelle dans les GV et de la condensation par contact direct sur l'ISHP(MP) qui gouverne la disparition de vapeur dans le primaire,
- o de la pression de tarage des GCT-a qui impacte la pression primaire lors du palier GV, et à travers elle le débit brèche et les débits injectés (IS et accus)
- o des caractéristiques du RIS (accumulateurs, ISHP/MP, ISBP).

**3.6.2 Paramètres clés gouvernant la redescente de l'eau dans la cuve**

La redescente d'eau dans la cuve en provenance des boucles primaires et du dôme est fonction des paramètres clés suivants :

**Transfert des connaissances APRP BI**

- o l'arrêt des GMPP : dès leur ralentissement, les débits dans les boucles primaires se réduisent. La circulation forcée diphasique cède la place à un contre-courant eau vapeur dans la partie montante des boucles primaires. Le liquide encore présent dans cette partie redescend vers la cuve. De plus, l'eau piégée dans le dôme pendant le fonctionnement des GMPP se vidange vers le cœur via les tubes guides, lors de leur arrêt. Ce retour d'eau est aussi conditionné par le type de dôme : dôme chaud du CP0 et dôme froid pour le CPY. Ce dernier est le plus favorable pour les BI car il permet une vidange plus rapide de l'eau piégée dans le dôme lors de l'arrêt des GMPP.
- o la loi de puissance résiduelle, qui conditionne la valeur du débit vapeur en sortie cœur.
- o le retour d'eau des branches chaudes (BC) vers le cœur, désigné sous le terme de contre-courant dans les BC. Durant la phase caloduc, le maintien d'un échange direct avec les GV produit de l'eau par condensation de la vapeur des deux cotés des épingles GV. Le retour de l'eau condensée vers la cuve se fait à contre courant du débit vapeur issu du cœur.
- o le contre-courant à la plaque supérieure du cœur. Ce contre courant est différent de celui rencontré dans un tuyau de diamètre moyen. En effet, les dimensions de la plaque autorisent un écoulement de type bi-dimensionnel : l'eau ruissèle de préférence en périphérie du cœur (là où la puissance cœur est la moins élevée, donc avec moins de débit vapeur freinant la descente de l'eau), tandis que la vapeur monte majoritairement dans la partie centrale, où la génération de puissance reste la plus forte.

**3.6.3 Paramètres clés gouvernant le niveau gonflé dans le cœur**

Dans le cœur, la production de vapeur conduit à la présence d'un niveau dit « gonflé » (noté  $Z_G$ ). Le mélange diphasique s'élève jusqu'à la cote axiale  $Z_G > Z_T$  (où  $Z_T$  désigne le niveau dit « tassé ») du fait de la présence de vapeur. Jusqu'à la cote  $Z_G$ , les crayons combustibles sont « mouillés » par le mélange diphasique et maintenus à une température voisine de la température de saturation (température du mélange diphasique). Au-delà de la cote  $Z_G$ , les crayons ne sont plus alors qu'insuffisamment refroidis par convection vapeur et on peut y observer un excursion de température.

Le gonflement du niveau dans le cœur est piloté par le taux de présence de vapeur dans la phase liquide continue. L'entraînement de l'eau par la vapeur est caractérisé par le frottement entre les phases liquide et vapeur et dénommé frottement interfacial. Celui-ci est le paramètre clé qui gouverne le niveau de mélange (niveau gonflé) dans le cœur, pour une masse d'eau résiduelle présente dans le cœur.

Plus la valeur du frottement interfacial est élevée, plus le niveau est gonflé et moins le cœur est dénoyé. De plus, si le niveau gonflé est plus faible, il y a moins de puissance transmise au liquide pour le vaporiser. Le débit vapeur est alors plus faible, et les échanges convectifs entre les gaines et la vapeur diminuent dans la partie non couverte par le niveau gonflé, favorisant ainsi les excursions de température des gaines, d'autant plus que la vapeur y est surchauffée.

**3.6.4 Echauffement des gaines du combustible****3.6.4.1 Le gonflement des gaines du combustible**

Le refroidissement des gaines combustibles dans la partie dénoyée est partiellement assuré par le débit de vapeur généré dans la partie noyée. L'échange s'effectue par convection avec la vapeur, dont la température ne cesse d'augmenter lors de sa remontée le long des gaines (cf. Figure 6).

L'échauffement du crayon asséché dépend aussi de phénomènes locaux engendrés par le changement de géométrie de la gaine. Avant l'éclatement des gaines des crayons les plus

**Transfert des connaissances APRP BI**

chauds, la réduction locale du débit de vapeur est défavorable tandis que le gonflement des gaines augmente la surface d'échange, dont l'effet est favorable.

**3.6.4.2 La rupture des gaines du combustible**

Les crayons les plus puissants peuvent éclater. Après l'éclatement (rupture) des gaines à des niveaux de température supérieurs à 900°C, la surface de la gaine devient très supérieure à sa valeur initiale, et la réaction d'oxydation du Zircaloy avec l'eau et la vapeur intervient de manière locale (sur quelques cm) et simultanément sur les faces intérieures et extérieures de la gaine (oxydation double face) comme l'illustre la Figure 7. Le point d'éclatement définit la cote où se situe la restriction de passage pour l'écoulement (zone de blocage) et provoque une réduction de débit supplémentaire qui pénalise le refroidissement des gaines à cette cote, mais aussi en aval de la zone de blocage.

Le comportement des gaines vis-à-vis des phénomènes de gonflement / rupture est conditionné par les données initiales fonctions de l'épuisement (pression interne des crayons et profil de puissance axial) ainsi que les caractéristiques thermo-mécaniques de l'alliage employé pour les gaines combustibles (Zircaloy 4, Zirlo et M5).

Les paramètres clés sont donc le coefficient d'échange, la valeur du facteur de la puissance du point chaud (FQ), la valeur du facteur d'enthalpie ( $F\Delta H$ ), la loi de puissance résiduelle, la pression interne des crayons et le profil de puissance axial.

**4. Etudes du Rapport de Sûreté****4.1 Règles d'études d'accident****4.1.1 APRP BI de 4<sup>ème</sup> catégorie**

Pour les transitoires de dimensionnement de 4<sup>ème</sup> catégorie, deux hypothèses sont envisagées en ce qui concerne le maintien des alimentations électriques :

- o la perte des alimentations électriques (MDTE), postulée au pire des 3 instants (soit à l'instant initial du transitoire, soit à l'arrêt automatique du réacteur ou encore au signal d'injection de sécurité). Les pompes primaires s'arrêtent à l'instant du MDTE.
- o le maintien des alimentations électriques. Un arrêt différé ou un arrêt automatique des GMPP sont étudiés selon les paliers.

**4.1.1.1 Brèche primaire avec prise en compte du MDTE**

Dans le cas d'une brèche primaire avec MDTE, les GMPP sont arrêtés à l'instant du MDTE, supposé intervenir au signal AAR.

L'aggravant retenu porte sur l'apport d'eau au circuit primaire. Selon le critère de défaillance unique, l'aggravant qui pénalise l'injection de sécurité, avec MDTE, est la perte d'un des diesels de secours qui conduit à l'indisponibilité :

- d'une file IS (sur 2), autrement dit la perte d'une pompe ISMP(HP) et d'une pompe ISBP, de 2 LDP (sur 3) de 1 MPS ASG (sur 2),
- pour le 1300 MWe<sup>1</sup> de 2 GCT-a (sur 4) et pour le N4 de 4 GCT-a (sur 8),

<sup>1</sup> Les GCT-a du 1300 MWe sont non classés et ne sont activés dans les études que par l'opérateur.

**Transfert des connaissances APRP BI****4.1.1.2 Brèche primaire avec prise en compte de l'arrêt différé des GMPP et sans MDTE**

Dans le cas d'une brèche primaire **sans MDTE**, les alimentations électriques sont maintenues. Un arrêt différé ou un arrêt automatique des GMPP sont envisagés.

- Pour le 1300 MWe, le N4, et les tranches du 900 MWe non équipées de l'arrêt automatique des GMPP, on considère l'arrêt différé de tous les GMPP au « pire instant » du transitoire thermohydraulique. L'aggravant retenu porte sur l'apport d'eau au circuit primaire. Selon le critère de défaillance unique, l'aggravant qui pénalise l'injection de sécurité, avec arrêt différé des GMPP et sans MDTE, est la perte d'une pompe ISHP ou ISMP.
- Pour les tranches du 900 MWe (CP0 et CPY) équipées de l'arrêt automatique des 3 GMPP, on considère l'arrêt de 2 GMPP sur un signal de pression enceinte MAX2 avancé validé par TBPP (sans MDTE). Selon le critère de défaillance unique, l'aggravant qui pénalise ce scénario, est la non ouverture d'un des disjoncteurs GMPP. On considère donc l'arrêt différé d'un seul GMPP au « pire instant » du transitoire thermohydraulique.

**4.1.1.3 Spécificités du 900 MWe**

Compte-tenu de la spécificité du 900 MWe vis-à-vis de la discontinuité des moyens d'injection de secours (cf. § 3.2), des études supplémentaires sont réalisées uniquement pour le 900 MWe (et pour les gestions postérieures à GARANCE). Elles vérifient le respect des critères de sûreté lors du deuxième découverture du cœur après l'isolement ou la fin de vidange des accumulateurs (désigné dans les notes d'études comme appartenant au « risque Moyen Terme »).

L'étude du risque à moyen terme du transitoire de brèche intermédiaire est réalisée dans un premier temps par le balayage d'un spectre de tailles de brèches en considérant pour chacune d'elles les deux détentés limites des accumulateurs, la plus lente et la plus rapide (réf. [12], [16]). L'exhaustivité de la démonstration est ensuite apportée dans un deuxième temps grâce à l'utilisation de la méthodologie des calculs découplés (réf. [3], [12], [16]). L'analyse du spectre de brèches permet de mettre en évidence les conditions les plus pénalisantes à l'instant d'isolement des accumulateurs. Le cas le plus pénalisant considéré est celui qui va isoler le plus rapidement (au moment de la temporisation de 20 minutes) et avec le minimum de masse primaire (donc avec un niveau cuve qui est juste égal au seuil BBC). Ce cas couvre l'ensemble des différentes détentés possibles.

**4.2 Actions opérateur**

Dans les études, la phase de diagnostic (entrée dans le DOS) débute à partir de la première intervention d'un automatisme (AAR, IS). Les actions opérateur sont conformes aux règles de conduite APE. Conventionnellement, les actions favorables (par exemple le refroidissement) sont effectuées dans les simulations au plus tôt 20 mn après l'AAR sur atteinte des critères demandés dans les procédures de conduite. Les actions défavorables (par exemple l'isolement des accumulateurs) peuvent être réalisées avant 20 mn. Elles sont supposées entreprises sans erreur sur la base d'un diagnostic correct de l'état de la tranche.

**4.3 Méthodologie d'étude**

La méthodologie d'étude actuelle des APRP BI est une Méthodologie de type Déterministe Réaliste (MDR). Elle repose sur l'utilisation du code réaliste CATHARE 2 (V1.3L\_1 Révision 5) associé à une démarche déterministe enveloppe de pénalisation systématique des paramètres clés du transitoire (réf. [1]).

**Transfert des connaissances APRP BI**

La MDR préconise que les études comportent une première étude de sensibilité au Bouchage des Tubes de Générateur de Vapeur (BTGV). Cette sensibilité vise à vérifier si la prise en compte d'un taux de BTGV non nul (tubes bouchés) impacte les pics de température de gaines calculés lors des transitoires pénalisants de l'étude du spectre de brèche (avec ou sans MDTE et à Moyen Terme pour le 900 MWe). L'effet du BTGV n'étant pas générique, son impact est étudié pour chaque palier en fonction du taux de BTGV maximal généralement rencontré sur les tranches correspondantes du Parc en Exploitation.

Une deuxième étude de sensibilité à l'épuisement du combustible est effectuée sur le cas pénalisant dégagée par l'étude du BTGV. Elle détermine, au final, le cycle durant lequel on obtient le cas le plus pénalisant.

**4.4 Synthèses des études APRP BI de 4<sup>ème</sup> catégorie**

Pour chaque palier, les gestions combustibles en exploitation et à venir sont rappelées dans le Tableau 1. Il renvoie parallèlement aux références des études APRP BI correspondantes.

L'Annexe B présente une synthèse des résultats des études des transitoires de 4<sup>ème</sup> catégorie pour les paliers 900 MWe, 1300 MWe et le N4.

Les études des nouvelles gestions GALICE et ALCADE sont en cours de transmission à l'ASN.

Palier	Gestion	Combustible	Références des études BI
CP0	CYCLADES	UO <sub>2</sub> à 4,2% - 1/3 cœur	Réf. [11]
	CYCLADES avec sur-remplissage des accumulateurs		Réf. [12]
CPY	GARANCE	UO <sub>2</sub> à 3,7% - 1/4 cœur et/ou MOX à 5,3% / 7% - 1/3 cœur	Réf. [13] et [14]
	PARITE MOX 52	UO <sub>2</sub> à 3,7% - 1/4 cœur et/ou MOX à 8,65% - 1/4 cœur	Réf. [15] à [16]
1300 MWe	GEMMES	UO <sub>2</sub> à 3,4% - 1/3 cœur	Réf. [17]
	GEMMES avec réévaluation des débits RIS	UO <sub>2</sub> à 3,4% - 1/3 cœur	Réf. [18]
	GALICE	UO <sub>2</sub> à 4,5 % - 1/3 et 1/4 cœur	Réf. [19]
N4	N4 Dôme Froid	UO <sub>2</sub> à 3,4 % - 1/4 cœur	Réf. [20]
	ALCADE	UO <sub>2</sub> à 4,0 % - 1/3 cœur	Réf. [21]

Tableau 1 – Références des études APRP BI pour les gestions combustibles en exploitation et en cours de préparation. Une synthèse des plus récents résultats pour la 4<sup>ème</sup> catégorie est donnée dans l'Annexe B.

**Transfert des connaissances APRP BI****5. Dossiers connexes**

L'Annexe C présente sommairement les principaux dossiers pour lesquels l'APRP BI représente un transitoire nécessitant des études spécifiques et/ou des modifications matérielles.

**6. Références****APRP BI : Méthodologie MDR - Note de méthode**

- [1] Méthode Déterministe Réaliste pour les études APRP PB & BI avec Cathare 2  
Note FRAMATOME-ANP EPD/DC.202 - Rév. B.

**900 MWe : Programme de travail APRP BI et conduite des accumulateurs sur niveau cuve**

- [2] APRP BI 900 MWe - Validation de la conduite des accumulateurs sur niveau cuve vis-à-vis de la continuité des moyens d'injection.  
Note FRAMATOME-ANP EP/RA/DC.1702 - Rév. B.
- [3] 900 MWe APRP BI - Validation de la conduite des accumulateurs sur niveau cuve vis-à-vis de la continuité des moyens d'injection - Méthode de découplage.  
Note FRAMATOME-ANP EP/RA/DC.1714 - Rév. C.

**Arrêt automatique des GMPP**

- [4] APRP BI CP0 – Faisabilité d'un déclenchement automatique des GMPP – Aggravant portant sur la non ouverture d'un disjoncteur de pompe.  
Note FRAMATOME-ANP EP/RA/DC.1720 - Rév. B

**Règles de conduites****900 MWe**

- [5] CPY / CP0 - Approche par Etat – Note de présentation générale.  
Note FRAMATOME-ANP EPRE/DC.1004 - Rév. E
- [6] APRP BI 900 MWe - Conduite des accumulateurs pour l'APE. Définition et Validation.  
Note FRAMATOME-ANP EP/RA/DC.1712 - Rév. B

**1300 MWe**

- [7] Jeux stabilisés 1300 MWe - Approche par Etat – Règles de conduite ECP4.  
Note FRAMATOME-ANP EPRE/DC.1634 - Rév. B

**N4**

- [8] APE N4 - Approche par Etat – Règles de conduite ECP4.  
Note FRAMATOME-ANP EPRE/DC.403 - Rév. G

**CP0 : Gestion CYCLADES**

- [9] CYCLADES - APRP BI de catégorie 4 – Arrêt différé des GMPP.  
Note FRAMATOME-ANP EP/RA/DC.1627 - Rév. B.
- [10] CYCLADES - APRP BI de catégorie 4 – Arrêt des GMPP à l'AAR – Etude de la seconde partie du transitoire.  
Note FRAMATOME-ANP EP/RA/DC.1470 - Rév. B.
- [11] CYCLADES - APRP BI de catégories 3 et 4 – Note de synthèse – Petites brèches et brèches intermédiaires .  
Note FRAMATOME-ANP EP/RA/DC.1629 - Rév. B.

**Transfert des connaissances APRP BI**

- [12] CYCLADES - Prise en compte du sur-remplissage des accumulateurs du CP0 vis-à-vis de l'APRP BI.  
Note FRAMATOME-ANP PS/RA/DC.1849 - Rév. B.

**CPY : Gestions GARANCE et PARITE MOX 52**

- [13] GARANCE – CPY – Perte de réfrigérant primaire brèches intermédiaires.  
Note FRAMATOME-ANP EP/RP/DC.198 - Rév. B.
- & GARANCE – CP0 – Perte de réfrigérant primaire brèches intermédiaires.  
Note FRAMATOME-ANP EP/RP/DC.377 - Rév. B. *[contient des cas CPY]*
- [14] GARANCE – CPY – Sensibilité à l'épuisement du combustible MOX en APRP – Etude de la première partie du transitoire.  
Note FRAMATOME-ANP EP/RP/DC.341 - Rév. B.
- [15] PARITE MOX 52 – APRP BI de catégorie 4 – Aspect moyen terme – Calculs découplés.  
Note FRAMATOME-ANP EP/RA/DC.1781 - Rév. C.
- [16] PARITE MOX 52 – APRP de catégorie 3 et 4 – Note de synthèse – Petites Brèches et Brèches Intermédiaires.  
Note FRAMATOME-ANP EP/RA/DC.1797 - Rév. C.

**1300 MWe : Gestions GEMMES et GALICE**

- [17] GEMMES 1300 MWe – APRP Brèches Intermédiaires SERMA+2 $\sigma$ .  
Note FRAMATOME-ANP EP/RB/DC.1443 - Rév. B.
- [18] Réacteur 1300 MWe - Impact de la réévaluation des débits RIS sur les études APRP BI GEMMES.  
Note FRAMATOME-ANP PSRB/DC.1799 - Rév. B.
- [19] GALICE – APRP de catégories 3 et 4 – Note de synthèse – Petites brèches et Brèches Intermédiaires.  
Note FRAMATOME-ANP PSRB/DC.1819 - Rév. B.

**N4 : Gestions N4 et ALCADE**

- [20] N4 – Etude de l'accident d'APRP BI avec CATHARE en Dôme Froid  
Note FRAMATOME-ANP EPRC/DC.1704 - Rév. B.
- [21] Réacteur N4 – ALCADE – APRP de catégorie 3 et 4 – Note de synthèse.  
Note FRAMATOME-ANP PSRC/DC.63 - Rév. B.

**Dossier Tenue en service des cuves**

- [22] Dossier de Synthèse "Tenue en service des cuves 900 MWe – Révision 2" - Etude des transitoires et des sollicitations thermohydrauliques.  
Note EDF ENFPPC0100609 A
- [23] Dossier de Synthèse "Tenue en service des cuves 1300 MWe" - Etude des transitoires et des sollicitations thermohydrauliques.  
Note EDF ENFPPC022345 A

**Transfert de connaissance**

- [24] Transfert des connaissances de la Division PR – Etat des lieux sur la « Dilution Hétérogène inhérente ». EDF/SEPTEN - FdC ENPRTR030077.
- [25] Historique de la réglementation relative à l'APRP.  
Note EDF/SEPTEN ENPRTR060047 A



## Transfert des connaissances APRP BI

## ABREVIATIONS

AAR	Arrêt Automatique du Réacteur
APE	Approche Par Etat
ARE	Régulation du débit d'Eau alimentaire
ASG	Alimentation de Secours des Générateurs de Vapeur
ASN	Autorité de Sûreté Nucléaire
BBC	Seuil Ncuve Bas des Branches Chaudes
BdC	Seuil Bas du Cœur
BI	Brèches Intermédiaires
BPP	Basse Pression Pressuriseur
CPP	Circuit Primaire Principal
CC	Crayon Chaud
CM	Crayon Moyen
DDV	Début de Vie
DOS	Document d'Orientation et de Stabilisation
$\Delta T_{sat}$	Marge à la saturation du fluide primaire
ECPI	Etat Conduite Primaire i
FCi	Fin de Cycle i (i = 1,2,3,4)
F $\Delta$ H	Facteur d'élévation d'enthalpie
FQ	Facteur de puissance au point chaud
GB	Grosses Brèches
GCT-a	Contournement Turbine à l'atmosphère
GCT-c	Contournement Turbine au condenseur
GMPP	Groupe Moto Pompe Primaire
GV	Générateur de Vapeur
HBC	Seuil Haut des Branches Chaudes
IPS	Important Pour la Sûreté
IS	Injection de Sécurité
ISBP	Injection de Sécurité Basse Pression
ISHP	Injection de Sécurité Haute Pression
ISMV	Injection de Sécurité Moyenne Pression
LDP	Ligne de Décharge du Pressuriseur
MDR	Méthodologie Déterministe Réaliste
MDTE	Manque De Tension Externe
MPS	Moto Pompe du système d'alimentation de Secours des GV

**Transfert des connaissances APRP BI**

Ncuve	Mesure de niveau cuve
PB	Petites Brèches
RCV	Contrôle Chimique et Volumétrique du Réacteur
RdS	Rapport de Sûreté
R et D	Recherche et Développement
RFTC	Rapport de Flux Thermique Critique
RGE	Règles Générales d'Exploitation
RIE	Séquence Restauration de l'Inventaire en Eau
RIS	Injection de Sécurité
RTV	Rupture de Tuyauterie Vapeur
SUC	Séquence Sauvegarde Ultime du Coeur
TBPP	Très Basse Pression Pressuriseur
TPS	Turbo Pompe du système d'alimentation de Secours des GV
TRIC	Température en sortie du cœur
USNRC	Autorité de Sûreté Nucléaire Américaine
VD2	2 <sup>ème</sup> Visite Décennale
VD3	3 <sup>ème</sup> Visite Décennale

**Transfert des connaissances APRP BI**

**FIGURES**

Transfert des connaissances APRP BI

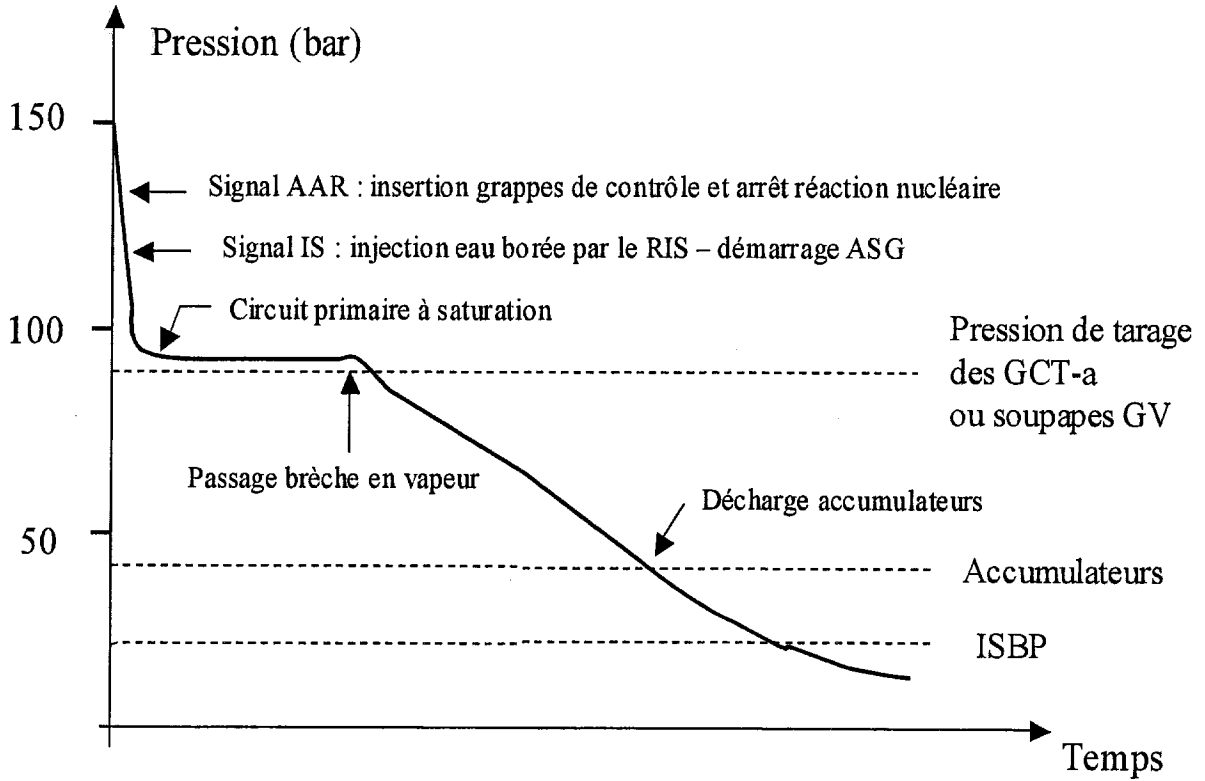


Figure 1 – Evolution générale de la pression primaire durant un transitoire de brèches intermédiaires.

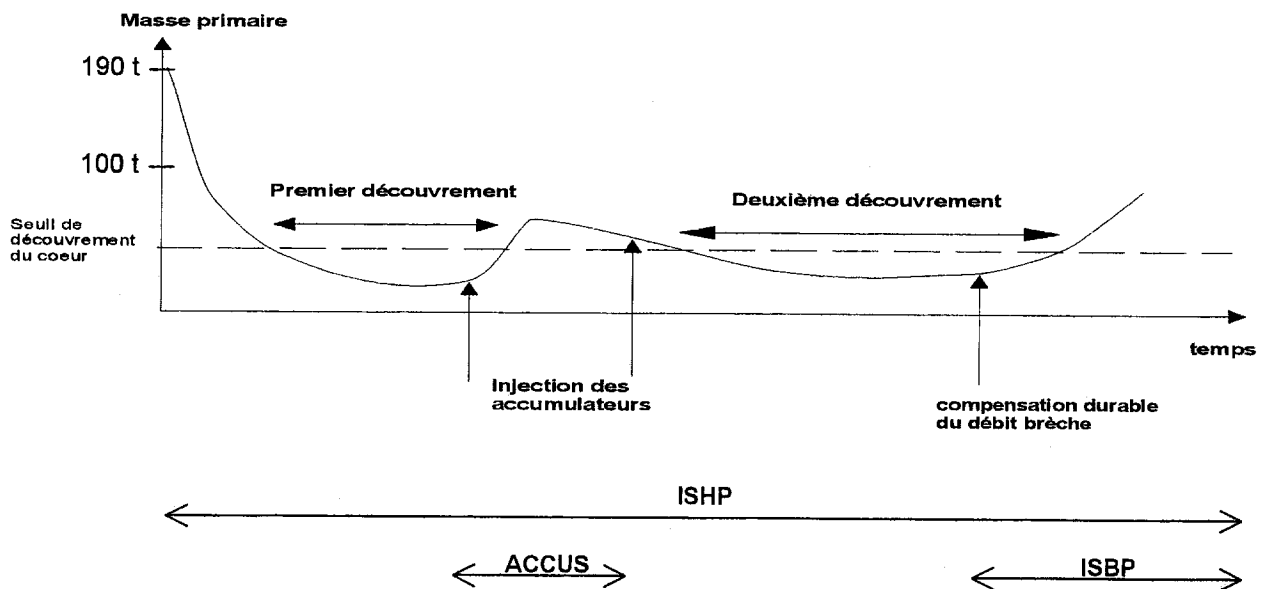


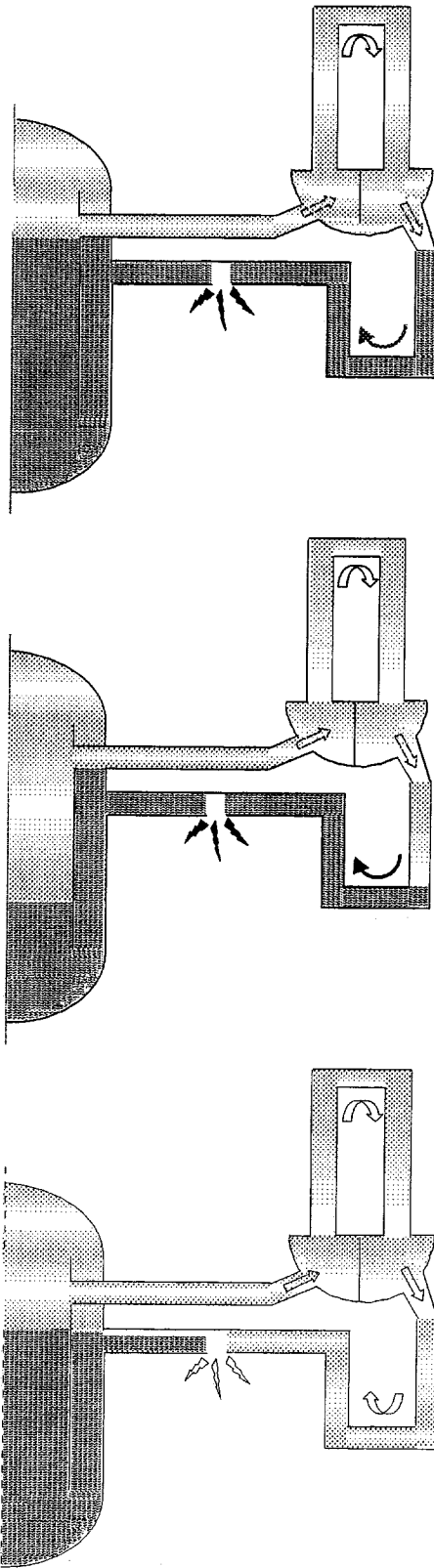
Figure 2 – Schématisation de la problématique du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>ème</sup> découvrément pour le 900 MWe.

## Transfert des connaissances APRP BI

CHRONOLOGIE	Observations
Ouverture de la brèche	
Dépressurisation monophasique	vidange du pressuriseur
AAR sur seuil BPP	arrêt de la réaction nucléaire
IS sur seuil TBPP	injection eau borée par l'IS et démarrage de l'ASG
Circuit primaire à saturation	ralentissement de la dépressurisation par production de vapeur
Palier GV	pression primaire stabilisée, évacuation puissance au secondaire
Passage brèche en vapeur	reprise de la dépressurisation
1 <sup>er</sup> découverturement cœur	
Début injection des accumulateurs	renoyage du cœur s'il a subi un découverturement
Accumulateurs vides ou isolés	
2 <sup>ème</sup> découverturement cœur	seulement sur 900 MWe car discontinuité des moyens d'injections
Atteinte de l'ISBP	
Palier de pression final	cuve complètement noyée
Atteinte de l'état sûr	RIS – EAS en fonction pour une durée indéterminée

Tableau 2 – Chronologie générale d'un transitoire de brèches intermédiaires.

## Transfert des connaissances APRP BI



Avant la vidange de la branche en U, la brèche est alimentée par du liquide. Le bouchon d'eau empêche la vapeur issue du cœur de rejoindre la brèche.

La vapeur produite dans le cœur, ne pouvant s'échapper facilement à la brèche, s'accumule dans les parties hautes du circuit.

La vapeur accumulée dans les parties hautes du circuit provoque une légère pressurisation du plénum supérieur. Cette pressurisation se comporte comme un piston et pousse, simultanément, l'eau du cœur vers le fond de la cuve ainsi que l'eau présente dans les branches intermédiaires vers le cœur.

Avec ce mécanisme, le downcomer reste plein d'eau (rempli par l'eau du cœur et des branches froides). Une baisse de niveau peut alors affecter la cuve selon le bilan global des hauteurs hydrostatiques motrices et résistantes le long de la boucle primaire. Cette baisse, dite manométrique, peut s'accompagner d'une baisse de niveau de mélange dans le cœur, et mener à une petite excursion de température des crayons combustibles dans la partie dénoyée.

La partie descendante de la branche en U se vidange progressivement. La brèche est alimentée par du liquide.

La différence de hauteur d'eau qui se crée entre le cœur et le downcomer, induit une force motrice due à la différence de poids des colonnes d'eau. Lorsque son amplitude devient suffisante, et alors que le niveau en partie descendante de la branche en U a atteint la cote de la génératrice supérieure du tronçon horizontal, la vapeur produite dans le cœur chasse l'eau contenue dans la branche intermédiaire et expulse le bouchon d'eau.

La brèche passe en vapeur. Le niveau dans le downcomer et le cœur se rééquilibrent.

Figure 3 – Schéma global de l'expulsion d'un bouchon d'eau d'une branche en U.

Ce phénomène physique a été largement étudié sur la boucle d'essais Bethsy. Son impact sur le déroulement du transitoire reste du second ordre.

Transfert des connaissances APRP BI

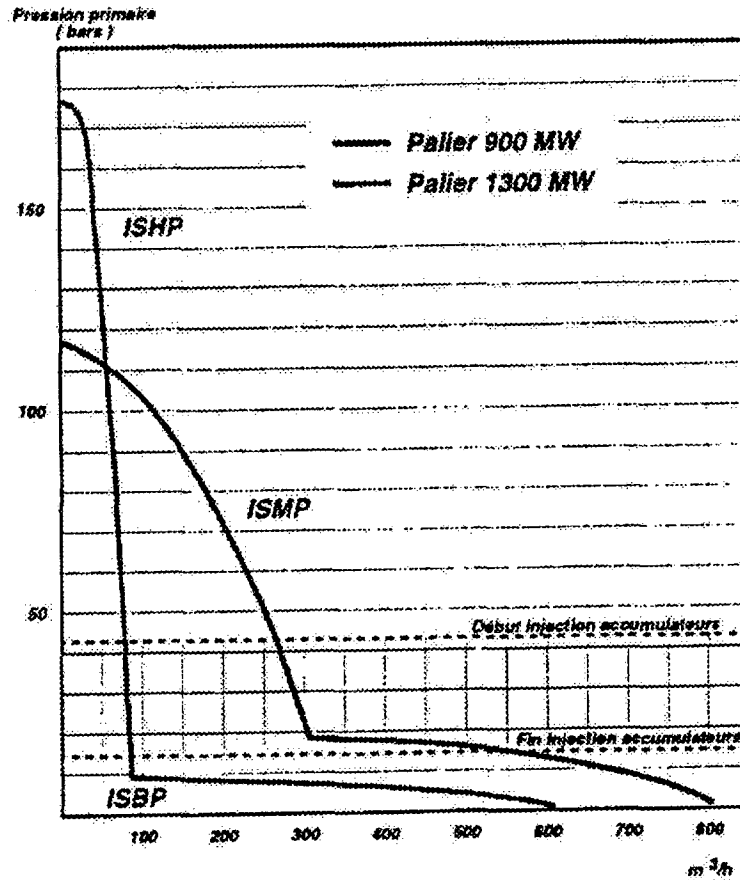


Figure 4 – Caractéristiques générales des débits d'IS des paliers 900 et 1300 MWe.

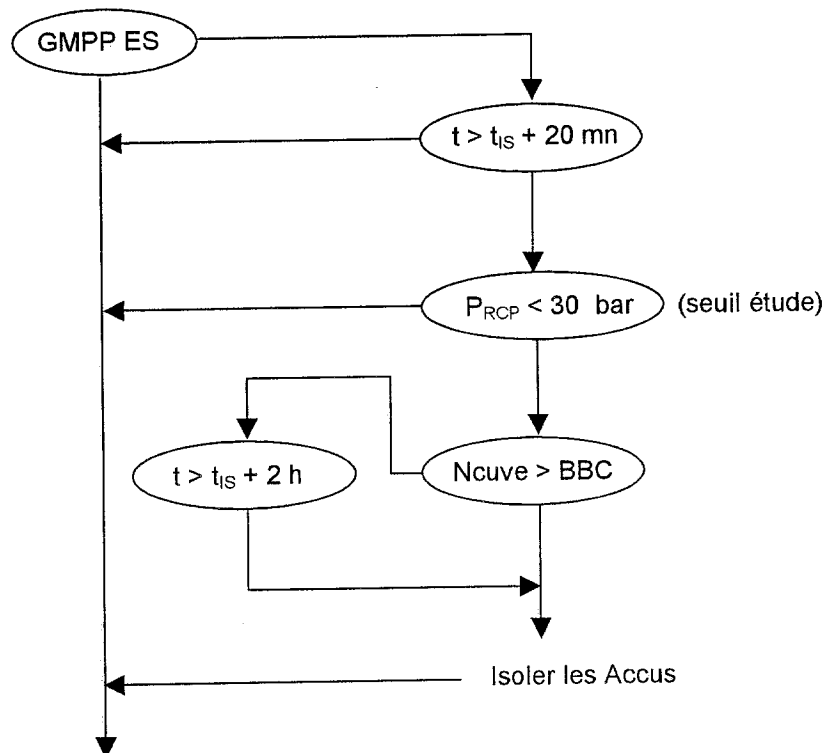


Figure 5 – Principe général de la nouvelle conduite des accumulateurs pour le 900 MWe.

## Transfert des connaissances APRP BI

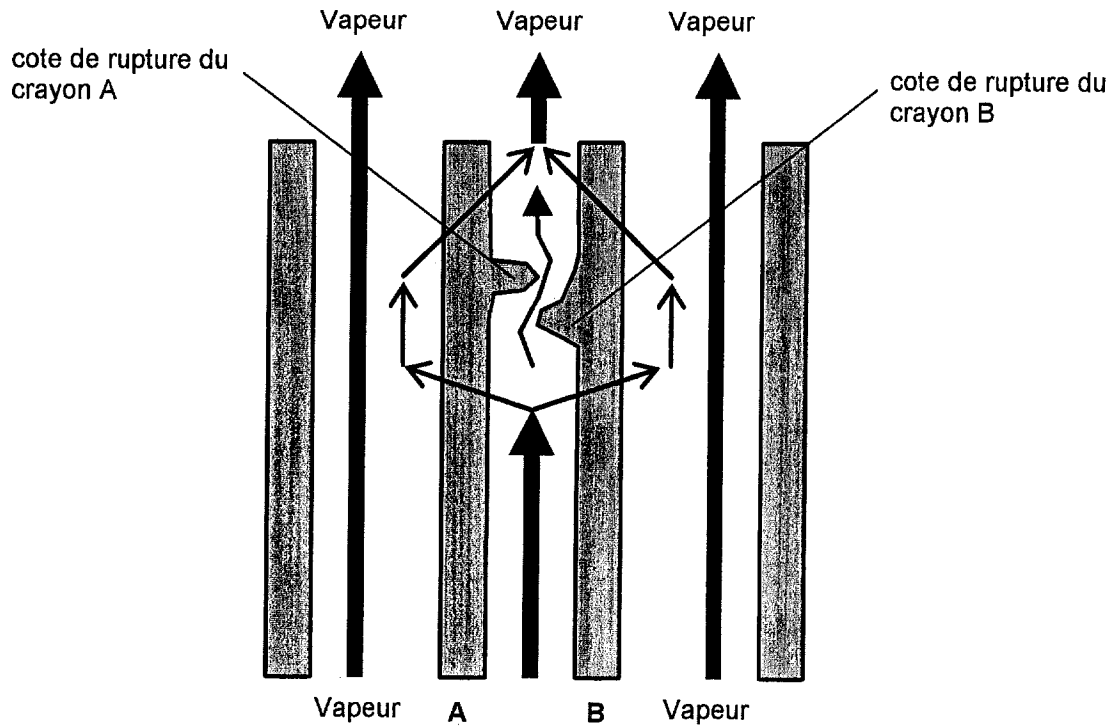


Figure 6 – Schéma d'une déformation de gaine dont le gonflement provoque une réduction de la section de passage (blocage).

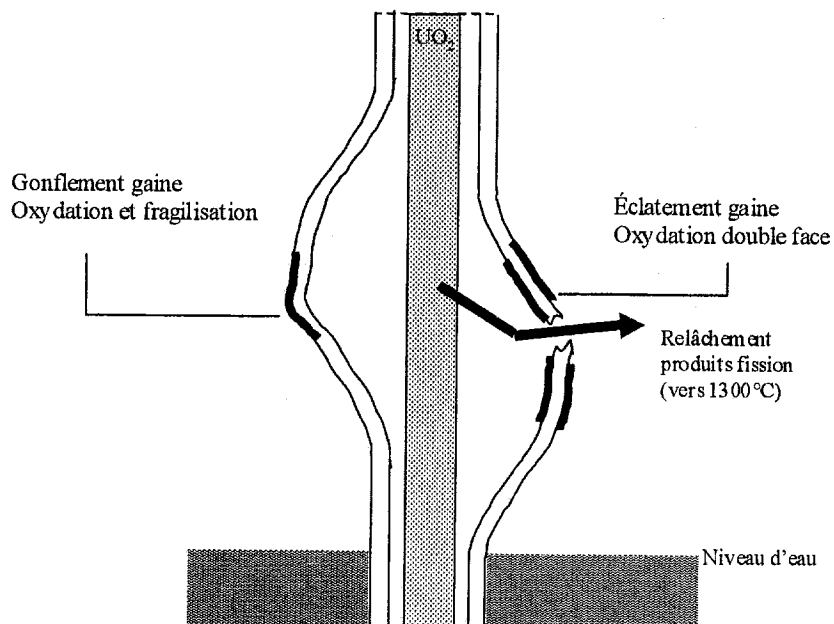


Figure 7 – Représentation schématique du gonflement et de la rupture d'une gaine combustible avec les deux possibilités d'oxydation simple et double face.



## Transfert des connaissances APRP BI

## Arrêt différé des GMPP - Gestion GALICE 1300 MWe

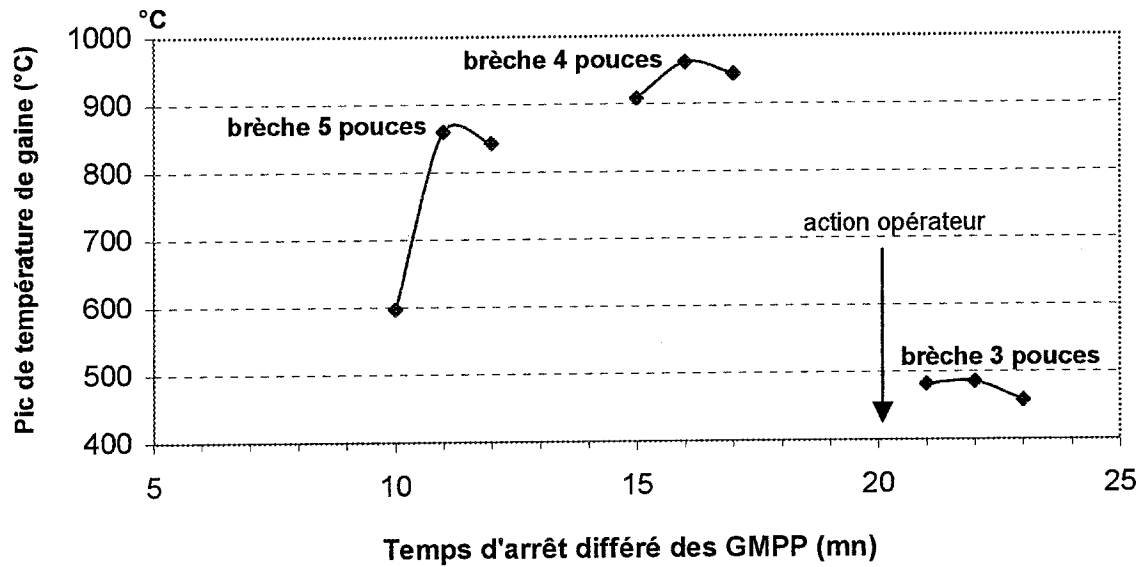


Figure 8 – Illustration de la recherche du couple pénalisant (taille de brèche ; instant d'arrêt des pompes) en BI pour la gestion combustible GALICE du 1300 MWe.

(Ces résultats n'intègrent pas l'impact du BTGV et de l'épuisement du combustible, cf. réf [19]).

EDF  
SEPTEN

Note  
ENPRTL050126

Indice  
A

Annexe A  
1/2

**Transfert des connaissances APRP BI**

## **ANNEXE A**

**LES CRITERES DE CATEGORIE 4 A RESPECTER EN CAS D'APRP**

**Transfert des connaissances APRP BI****A.1. LES CRITERES A RESPECTER EN CAS D'APRP****A.1.1. Conditions de fonctionnement de catégorie 4**

Pour les conditions de fonctionnement de catégorie 4 (brèche primaire en branche froide par exemple), les critères de sûreté à respecter sont au nombre de cinq et concernent les gaines du combustible (3 critères) et le cœur dans sa globalité (2 critères).

- cr 1. La température maximale de gaine doit rester inférieure en tout point à 1204°C.
- cr 2. L'oxydation maximale de la gaine doit rester inférieure en tout point à 17% de l'épaisseur totale de la gaine avant oxydation.
- cr 3. La quantité totale d'hydrogène produite par réaction chimique entre la gaine et la vapeur d'eau doit rester inférieure à 1% de la quantité d'hydrogène qui résulterait de l'oxydation de la totalité du zirconium des gaines en regard du combustible.
- cr 4. Les modifications de la géométrie du cœur doivent être telles que le refroidissement de celui-ci soit maintenu.
- cr 5. Le refroidissement du cœur à long terme doit être assuré (évacuation de la chaleur résiduelle et maintien de la température du cœur à une valeur basse acceptable).

Ces critères sont issus de la réglementation américaine du 10CFR50.46 de l'USNRC « Acceptance criteria for emergency core cooling systems for light water power nuclear reactors » de Janvier 1974. Ils ont été repris dans les lettres CAB, dans la réglementation française. On peut se reporter à la référence [25] pour plus de détails.

EDF  
SEPTEN

Note  
ENPRTL050126

Indice  
A

Annexe B  
1/6

**Transfert des connaissances APRP BI**

**ANNEXE B**

**SYNTHESES DES ETUDES APRP BI DE CATEGORIE 4 POUR TOUS LES PALIERS.**

## Transfert des connaissances APRP BI

## ANNEXE B - SOMMAIRE

**Palier 900 MWe..... p 3**

**Court – Terme..... p 3**

Seuls les cas les plus pénalisants de l'ensemble des études BI Court Terme des gestions CYCLADES (CP0) et PARITE MOX 52 (CPY) sont présentés. Ils correspondent à la configuration « Arrêt différé d'1 GMPP avec action opérateur à 20 mn (modification matérielle arrêt automatique des GMPP) ».

**Moyen – Terme : spectre de brèches ..... p 3**

Non présentés car moins pénalisants que la configuration «Méthode découplée ».

**Moyen – Terme : méthode découplée ..... p 4**

Le cas le plus pénalisant des études BI Moyen Terme (2<sup>ème</sup> découplée) des gestions CYCLADES (CP0) et PARITE MOX 52 (CPY) dans la configuration « Méthode découplée » est présenté. Cette configuration n'est étudiée que depuis la modification matérielle « Arrêt automatique des GMPP ». Le cas présenté est extrait des études les plus récentes disponibles, et qui intègrent les modifications matérielles VD3 du 900 MWe (Arrêt automatique des GMPP et sur-remplissage des accumulateurs).

**Palier 1300 MWe ..... p 5**

Pour une gestion donnée, seul le cas le plus pénalisant de l'ensemble des études BI est présenté.

**Palier N4 ..... p 6**

Pour une gestion donnée, seul le cas le plus pénalisant de l'ensemble des études BI est présenté.

## Transfert des connaissances APRP BI

4 <sup>ème</sup> Catégorie - Palier 900 MWe – Court Terme			
GESTION	CP0	CPY	
	CYCLADES [4]	PARITE MOX [16]	
Code	Cathare 2 V1.3L	Cathare 2 V1.3L	
Cas	Arrêt différé d'1 GMPP	Arrêt différé d'1 GMPP	
Taille de brèche pénalisante en BF (pouce)	4"	4"	
Etat initial	102% PN	102% PN	
Loi de puissance résiduelle	SERMA93 + 2 $\sigma$	SERMA93 + 2 $\sigma$	
BTGV	0 %	0 %	
Détente Accumulateurs	lente	lente	
Signal AAR (s)	11,4 s	12 s	
Signal IS (s)	20 s	19,7 s	
Arrêt des 2 GMPP boucles intactes (s)	AAR	22,7	
Arrêt d'1 GMPP boucle rompue (s)	611,4 s	672 s	
Début injection IS (s)	N D	31,2	
Injection Accus (s)	826,4 s	840,4 s	
Temps opérateur (s)	1211 s	1212 s	
<b>Mesures APE au temps opérateur</b>			
Niveau cuve (%)	N D	43,3	
TRIC (°C)	N D	249	
$\Delta T_{sat}$ (°C)	N D	- 29	
<b>Minimum de masse</b>			
Minimum masse totale cœur (t)	1,8 t	1,6 t	
Minimum masse totale primaire (t)	38,2 t	41,3 t	
<b>Critères APRP</b>			
Température maximale gaine crayon moyen (°C)	609°C	558,6°C	
Epuisement pénalisant	N S	FC4 <sup>(1)</sup>	
		UO <sub>2</sub>	MOX
Température maximale gaine crayon chaud (°C)	930°C en DDV	885,9°C	941,7°C
Oxydation maximale totale gaine crayon chaud (%)	1,85 % en DDV	11,6 %	14,4 %

(1) : FQ et FΔH constants au cours des cycles,

N D : Non Disponible

(2) : FQ et FΔH décroissants au cours des cycles,

N S : Non Simulé

Remarque : le maintien des FQ et FΔH constants au cours des cycles est pénalisant. En pratique, ils décroissent naturellement au fur et à mesure de l'augmentation de l'épuisement du combustible (burn-up).

## Transfert des connaissances APRP BI

4<sup>ème</sup> Catégorie - Palier 900 MWe – Moyen Terme

		CP0	CPY	
<b>GESTION</b>		CYCLADES sur-remplissage des accus [12]	PARITE MOX [16]	
Code		Cathare 2 V1.3L	Cathare 2 V1.3L	
Cas		Calculs Découplés	Calculs Découplés	
Taille de la brèche en BF (pouce)		4 "	4 "	
Etat initial		102% PN	102% PN	
Loi de puissance résiduelle		SERMA93 + 2 $\sigma$	SERMA93 + 2 $\sigma$	
BTGV		0 %	0 %	
1 <sup>ère</sup> Phase	Signal AAR (s)	11	12	
	Signal IS (s)	23	22,3	
	Arrêt des 3 GMPP (s)	AAR	AAR	
	Ouverture Accumulateurs (s)	911	895,7	
	Niveau cuve (%) - fin de phase 1	40,6	44,5	
	Masse primaire (t) - fin de phase 1	37,6	43,2	
	Pression primaire (bar) - fin de phase 1	31,2	28,8	
2 <sup>ème</sup> Phase	Niveau cuve (%) - fin de phase 2	49,3	49,3	
	Masse primaire (t) - fin de phase 2	46,8	48,5	
	Pression primaire (bar) - fin de phase 2	29	26,4	
	Durée de la phase 2	291	288	
3 <sup>ème</sup> Phase	Minimum masse primaire (t)	42,3	44,3	
	IS en recirculation (s)	1438	1255	
	Compensation débit brèche par IS	1900	1900	
	<b>CRITERES APRP</b>	gaine Zy4	gaine Zy4	
	Température maximale gaine CM (°C)	427°C	354°C	
	Epuisement pénalisant	(2)	FC4 <sup>(1)</sup>	
			UO <sub>2</sub>	MOX
	Température maximale gaine CC	735 °C en DDV	722,1 °C	780,5 °C
Oxydation maximale CC (%)	12,7 % en FC3	10,8 %	11,6 %	

(1) : FQ et F $\Delta$ H constants au cours des cycles,

N D : Non Disponible

(2) : FQ et F $\Delta$ H décroissants au cours des cycles,

N S : Non Simulé

## Transfert des connaissances APRP BI

4 <sup>ème</sup> Catégorie - Palier 1300 MWe		
GESTION	GEMMES [18]	GALICE [19]
Code	Cathare 2 V1.3L	Cathare 2 V1.3L
Cas	Arrêt différé des 4 GMPP	Arrêt différé des 4 GMPP
Taille de la brèche pénalisante en BF (pouce)	4"	4"
Etat initial	102% PN	102% PN
Loi de puissance résiduelle	SERMA93 + 2 $\sigma$	SERMA93 + 2 $\sigma$
BTGV	0 %	15 %
Epuisement pénalisant	FC1 <sup>(2)</sup>	FC1 <sup>(2)</sup>
Signal AAR (s)	15,3 s	16,2 s
Arrêt des 4 GMPP (s)	866,4 s	916,2 s
Signal IS (s)	26,1 s	22,6 s
Début injection IS (s)	56,1 s	52,6 s
Injection Accus (s)	1291,3 s	1244,0 s
Temps opérateur (s)	1226,1 s	1216,2 s
Isolement accumulateurs (s)	N D	1344,9 s
<b>Mesures APE au temps opérateur</b>		
Niveau cuve (%)	31,6 %	30,4 %
TRIC (°C)	261,2°C	394°C
$\Delta T_{\text{sat}}$ (°C)	-167,4°C	-136,8°C
<b>Minimum de masse</b>		
Minimum masse totale cœur (t)	2,5 t	1,5 t
Minimum masse totale primaire (t)	47,5 t	42,3 t
<b>Découvrement du cœur</b>		
Début de découverture du cœur (s)	930,2 s	949,8 s
Durée du découverture du cœur (s)	414,9 s	343,9 s
<b>CRITERES APRP</b>		
	(gaine Zy4)	(gaine M5)
Température maximale gaine Crayon Moyen (°C)	602°C	574°C
Température maximale gaine Crayon Chaud (°C)	1085°C	1106°C
Oxydation totale gaine Crayon Chaud (%)	4,0 % en FC1	5,17 % (max)

(1) : FQ et FΔH constants au cours des cycles,

N D : Non Disponible

(2) : FQ et FΔH décroissants au cours des cycles, <sup>(3)</sup> : Estimé

N S : Non Simulé



## Transfert des connaissances APRP BI

4 <sup>ème</sup> Catégorie - Palier N4		
GESTION	N4 [20]	ALCADE [21]
Code	Cathare 2 V1.3L	Cathare 2 V1.3L
Cas	MDTE	MDTE
Taille de la brèche pénalisante en BF (pouce)	12 "	12 "
Etat initial	102% PN	102% PN
Loi de puissance résiduelle	SERMA93 + 2 $\sigma$	SERMA93 + 2 $\sigma$
BTGV	0 %	15 %
Epuisement pénalisant	FC4 <sup>(1)</sup>	FC1 <sup>(2)</sup>
Signal AAR (s)	7,2 s	7,1 s
Arrêt des 4 GMPP (s)	signal AAR	signal AAR
Signal IS (s)	ND	8,1 s
Début injection IS (s)	50,8 <sup>(3)</sup> s	40,1 s
Injection Accus (s)	110 s	118,2 s
Temps opérateur (s)	1207,2 s	NS
Isolement accumulateurs (s)	1207,2 s	NS
<b>Mesures APE au temps opérateur</b>		
Niveau cuve (%)	ND	NS
TRIC (°C)	ND	NS
$\Delta T_{\text{sat}}$ (°C)	ND	NS
<b>Minimum de masse</b>		
Minimum masse totale cœur (t)	ND	1,8 t
Minimum masse totale primaire (t)	54,61 t	43,3 t
<b>Découvrement du cœur</b>		
Début de découvrement du cœur (s)	55 s	88,1 s
Durée du découvrement du cœur (s)	75 s	65,0 s
<b>CRITERES APRP</b>		
Température maximale gaine CM	455 °C	571 °C
Température maximale gaine Crayon Chaud (°C)	778 °C	1053 °C
Oxydation maximale totale gaine Crayon Chaud (%)	11,43 %	3,80 %

<sup>(1)</sup> : FQ et F $\Delta$ H constants au cours des cycles,

ND : Non Disponible

<sup>(2)</sup> : FQ et F $\Delta$ H décroissants au cours des cycles, <sup>(3)</sup> : Estimé

NS : Non Simulé

EDF  
SEPTEN

Note  
ENPRTL050126

Indice  
A

Annexe C  
1/4

**Transfert des connaissances APRP BI**

## **ANNEXE C**

**PRINCIPAUX DOSSIERS CONNEXES**

**Transfert des connaissances APRP BI****C.1. Dossiers connexes****C.1.1 Modifications 900 MWe****C.1.1.1 Réévaluation des débits RIS**

Dans le cadre de l'instruction par l'Autorité de Sûreté de la mise en place de la gestion combustible PARITE MOX 52 pour les tranches CPY, il a été demandé de montrer le caractère enveloppe du domaine d'acceptabilité des Essais Périodiques RIS par rapport aux hypothèses utilisées dans les calculs des débits d'injection de sécurité pris en compte dans les études d'accidents du Rapport de Sûreté.

Une nouvelle méthode de calcul des performances du RIS a été définie pour les configurations avec 2 files et a conduit à l'identification d'écarts entre les débits d'IS (min et max) définis pour les paliers CP0 et CPY et ceux déterminés à partir de cette nouvelle méthode. Elle n'a aucun impact sur le cas pénalisant du CP0 car 1 seule file IS est disponible. En revanche, elle impacte le cas pénalisant PMOX où 2 files IS sont disponibles.

**C.1.1.2 Arrêt automatique des pompes primaires**

Les études menées pour la démonstration de sûreté du 900 MWe montrent que l'arrêt différé des 3 GMPP nécessite un refroidissement par l'opérateur via l'ouverture des GCT-a dès 10 mn après l'AAR pour le CP0 et 15 mn après l'AAR pour le CPY. Ces cas avec arrêt différé des GMPP sont les plus limitatifs et n'ont pas été considérés lors de la conception des tranches.

Lors de l'instruction de la gestion combustible CYCLADES, l'ASN a imposé une évolution du référentiel de sûreté en demandant que la démonstration intègre un temps opérateur de 20 mn.

Pour repousser l'action opérateur de refroidissement à 20 mn après l'AAR dans les études du RdS 900 MWe, il a été nécessaire de relaxer la sévérité des transitoires d'APRP BI. Pour cela, il a été décidé de mettre en place l'arrêt automatique des 3 GMPP sur les tranches 900 MWe (réf [4]).

L'ordre d'arrêt est émis lors de l'atteinte du signal accéléré de montée en pression dans l'enceinte (modification de la chaîne MAX2 enceinte des sites) et validé par le signal TBPP. L'arrêt automatique est IPS classé et les disjoncteurs des pompes ne sont pas redondants.

**C.1.1.3 Nouvelle conduite des accumulateurs**

L'ancienne conduite des accumulateurs exploitait un seuil d'isolement fixe (pression primaire inférieure à 15 bar). Lors de la réalisation de la gestion CYCLADES, les études ont montré que, compte-tenu des incertitudes sur la mesure de pression primaire (les  $\pm 6$  bars d'incertitudes et de pénalités sur la mesure de la pression impliquaient un isolement à 21 bar dans les études), ce type de critère a pour inconvénient de demander un isolement des accumulateurs alors que ceux-ci ont déchargé très peu d'eau.

La nouvelle conduite (réf [2] et [3]) permet, d'une part, de ne pas isoler les accumulateurs avant leur vidange complète pour les brèches qui ont besoin d'eau (surveillance du niveau cuve) et, d'autre part, d'isoler les accumulateurs avant l'injection d'azote pour les brèches trop petites.

Ce nouveau critère prend en compte l'état du primaire via une combinaison de paramètres (cf. § 3.5). La conduite prévoit de plus la possibilité de désisoler les accumulateurs si la situation venait à se dégrader.

**Transfert des connaissances APRP BI****C.1.1.4 Sur-remplissage des accumulateurs**

Les Essais Périodiques VD2 sur la décharge des accumulateurs CP0 et CPY ont révélé une résistance hydraulique des lignes de décharge des accumulateurs inférieure aux valeurs attendues et en dehors de la plage d'acceptabilité. Il s'ensuit que la décharge des accumulateurs pendant le transitoire d'APRP est accélérée par rapport aux situations de référence étudiées dans la plage des critères.

Pour pallier ce problème, il a donc été choisi d'augmenter le volume d'eau initial des accumulateurs. Il en résulte une diminution du volume d'azote et donc un ralentissement de la décharge des accumulateurs. Les études d'optimisation du remplissage en eau des accumulateurs ont abouti à la conclusion qu'il faut ajouter 3 m<sup>3</sup> d'eau dans chaque accumulateur du CPY et 4 m<sup>3</sup> d'eau dans chacun de ceux du CP0.

Les études PARITE MOX 52 (réf [16]) pour le CPY et les études CYCLADES pour le CP0 (réf [12]) intègrent la prise en compte du sur-remplissage des accumulateurs (cf. Tableau 1 du § 4.4) ainsi que l'arrêt automatique des GMPP et la nouvelle conduite des accumulateurs.

Pour CYCLADES, EDF a transmis le dossier adressé à l'ASN accompagné d'une demande de dérogation partielle à la règle de l'aggravant unique de façon à exclure le scénario pénalisant d'arrêt différé du 3<sup>ème</sup> GMPP. Des études probabilistes ont montré que la probabilité d'occurrence de ce scénario pénalisant (un GMPP s'arrête de manière différée) est suffisamment faible pour que cette configuration puisse être rejetée dans le risque résiduel. L'instruction par l'ASN est en cours.

Les études GARANCE UO2 seront reprises pour la VD3 du 900 MWe.

**C.1.2 Etudes 1300 MWe****C.1.2.1 Réévaluation des débits RIS**

Les dépassements des caractéristiques des pompes d'injection de sécurité observée lors des Essais Périodiques ont conduit à réévaluer à la baisse les débits d'IS considérés dans les études du RdS 1300 MWe. La réf [18] présente l'impact de la réévaluation de ces débits sur les études BI de 4<sup>ème</sup> catégorie pour la gestion GEMMES actuellement en exploitation.

**C.1.2.2 Arrêt Automatique des GMPP pour le 1300 MWe et le N4**

Lors de la séance du 19 décembre 2002, le Groupe Permanent (GP) a émis la recommandation demandant de qualifier l'arrêt des pompes primaires existant (sur haute température des paliers) aux conditions d'ambiance dégradée (K1) dans l'enceinte de confinement. Le Directoire VD2-1300 MWe du 1<sup>er</sup> octobre 2004 a décidé la mise en oeuvre sur les tranches 1300 MWe d'un arrêt automatique des GMPP initié sur un signal d'élévation de pression enceinte. Cette modification pourra également être valorisée dans l'APRP BI de la gestion GALICE pour laquelle les marges en pic de température de gaines sont inférieures à 100°C. Les études de conception de cette chaîne de protection ont débuté au premier semestre 2005.

**C.1.3 Dossier « Tenue en service des cuves »**

Cette note traite de l'étude des APRP BI dans la perspective de la vérification des critères de sûreté pour le cœur combustible. L'objectif des études APRP pour le dossier « Tenue en service des cuves » est tout autre. Il s'agit d'évaluer l'impact du choc froid dû au balayage de la cuve par le débit IS en APRP.

Les études thermohydrauliques (réf. [22] et [23]) de ce dossier visent à justifier la sélection des transitoires pénalisants pour les analyses de tenue mécanique de la cuve, en tenant

**Transfert des connaissances APRP BI**

compte du retour d'exploitation des tranches et des modifications tant matérielles que fonctionnelles récentes.

Parmi ces transitoires pénalisants, ceux issus de brèches primaires de 2 et 3 pouces conduisent aux facteurs de marge mécaniques minimaux. Le facteur de marge traduit pour la cuve la limite de la transition « fragile-ductile » en dessous de laquelle l'acier ou ses alliages deviennent fragiles et cassants en se refroidissant. Si le facteur de marge mécanique obtenu lors d'un APRP est inférieur au facteur de marge mécanique requis, le risque de rupture brutale de la cuve est alors avéré. Il faut noter que cette valeur limite évolue notamment dans le temps sous l'effet de l'irradiation de la cuve. Les localisations spatiales des points les plus vulnérables de la cuve se situent au niveau des joints soudés des viroles de cuve.

**C.1.4 Dossier « Dilution par caloduc lors d'un APRP BI »**

Ce dossier fait l'objet d'un transfert de connaissance spécifique (réf. [24]) auquel on peut se reporter pour de plus amples détails.

**C.1.5 Futurs GP « Référentiel APRP » et « Critères APRP ».**

Le 10CFR50.46 de la réglementation américaine et son appendice K constituent l'aboutissement d'années de discussions tant sur le transitoire de référence à utiliser pour le dimensionnement du RIS, que sur les critères de découplage associés et les modèles à considérer. Cette réglementation a été adoptée dans son intégralité par la France à l'occasion de la mise en oeuvre des premiers réacteurs sous licence Westinghouse. Ce document, émis en 1974, a évolué une première fois en 1988 : dans sa version amendée, le document supprime la prescription relative à l'utilisation des modèles spécifiés dans l'appendice K en offrant la possibilité d'utiliser, au choix, un modèle d'évaluation conforme à l'appendice K ou de type « best-estimate » (introduisant la notion de niveau de confiance associé au respect des critères APRP) pour la démonstration de sûreté.

L'allongement des taux d'épuisement et l'apparition de nouveaux gainages a relancé la R et D sur les critères APRP.

L'USNRC vient de pré-diffuser un document proposant de limiter la taille de brèche maximale à considérer dans le dimensionnement sur la base d'études probabilistes de rupture, ce qui ferait disparaître la Grosse Brèche du dimensionnement.

Compte tenu du lien existant entre la réglementation américaine et la pratique d'application en France, l'AS souhaite se positionner clairement sur les évolutions décidées ou à venir du 10CFR50.46, notamment au regard de celles en cours ou envisagées en France (en particulier la volonté de discuter des critères pour les gainages avancés fortement irradiés).

Cet exercice a pour objectif la définition d'un référentiel d'étude APRP, qui serait discuté à l'occasion de la réunion du Groupe Permanent. Le GP sur « Le référentiel APRP » est prévu au 1<sup>er</sup> trimestre 2008 et le GP « Critères de Sûreté » pour les combustibles avancés est prévu en 2009.

EDF  
SEPTEN

Note  
ENPRTL050126

Indice  
A

Annexe D  
1/3

**Transfert des connaissances APRP BI**

**ANNEXE D**

**PRINCIPALES ACTIONS OPERATEUR DURANT UN APRP BI**

**Transfert des connaissances APRP BI**

L'opérateur suit les procédures accidentelles de l'Approche Par Etats (réf. [5] à [8]). Suite au signal d'arrêt automatique du réacteur, le document DOS, Diagnostic Orientation Stabilisation, l'oriente, pour le 900 MWe :

- soit vers ECP4 avec les actions dites de « Restauration de l'Inventaire en Eau » (RIE) ou de « Sauvegarde Ultime du Cœur » (SUC),
- soit vers ECP2 avec l'action de « Passage à l'Arrêt à Froid, phase 1 : arrêt ISHP », selon la valeur du niveau cuve.

Les **paramètres qui guident l'opérateur** sont notamment la mesure de niveau d'eau dans la cuve et le  $\Delta T_{\text{sat}}$  (différence entre la température de saturation du fluide primaire et la température maximale en sortie cœur, TRIC max). En particulier, l'orientation vers ECP4 est la conséquence d'un niveau cuve dégradé, inférieur au seuil "Haut des Branches Chaudes" (HBC), alors que l'orientation vers ECP2 est la conséquence d'un niveau cuve moins dégradé, supérieur au seuil HBC.

L'**arrêt des GMPP** est commandé par l'opérateur seulement si l'inventaire primaire n'est pas trop dégradé (pas de surchauffe  $\Delta T_{\text{sat}} > -\varepsilon^1$ , et de niveau cuve  $\text{HBC} > \text{Ncuve} > \text{BdC}$ ), pour éviter de gaver trop longtemps une brèche primaire en mélange eau/vapeur.

Sur le palier 900 MWe (CP0 et CPY), un nouveau dispositif de protection automatique commande l'arrêt des GMPP sur un signal MAX2 enceinte accéléré et validé par le signal TBPP (réf. [4] à [7]).

Les **principales actions de refroidissement** entreprises par l'opérateur diffèrent selon l'orientation vers la séquence considérée :

Par exemple, pour le 900 MWe :

- séquences RIE et SUC de ECP4 :
  - ouverture des GCT-a
    - dans RIE
      - soit partielle (refroidissement contrôlé à 56 °C/h) si  $\text{Ncuve} > \text{BBC}$ ,  $\Delta T_{\text{sat}} > -\varepsilon^1$ , et  $\text{TRIC} < 330^\circ\text{C}$ ,
      - sinon en grand (refroidissement maximal)
    - soit en grand (refroidissement maximal) dans SUC.
  - ouverture des organes de décharge du pressuriseur (LDP)
    - demandée uniquement en cas de surchauffe ( $\Delta T_{\text{sat}} < -\varepsilon^2$ ) et sur Ncuve pour RIE,
    - demandée dans SUC.
- séquences "PAF – arrêt ISHP" de ECP2 ou "PAF phase 1 – arrêt ISHP" de ECP4 :
  - ouverture partielle des GCT-a (refroidissement à 56 °C/h).

L'ouverture des GCT-a par l'opérateur permet de refroidir le primaire, maximiser le débit ISMP(HP) et atteindre plus vite la pression d'injection des accumulateurs ou de l'ISBP. Cependant, le refroidissement n'est effectif que si la pression secondaire est inférieure à la pression primaire. Dans le cas contraire, il faudra attendre que la pression secondaire repasse sous la pression primaire pour que le refroidissement entrepris devienne efficace.

<sup>1</sup> La valeur de  $\varepsilon$  varie selon les paliers entre 10 et 20 °C.

**Transfert des connaissances APRP BI**

L'ouverture des organes de décharge du pressuriseur (LDP) par l'opérateur permet d'accélérer la dépressurisation, mais en augmentant transitoirement la perte de masse.

L'opérateur procède aussi à l'**isolement des accumulateurs**, dans la mesure du possible, pour éviter l'envoi d'azote dans le circuit primaire : l'azote risque de se répandre jusque dans les épingles GV et bloquer ou limiter alors les échanges thermiques avec le secondaire, empêchant ainsi l'évacuation de la puissance résiduelle. Cette situation peut retarder le retour à un état sûr, si le niveau de pression est supérieur à celui du refoulement de l'ISBP.

Par ailleurs l'isolement peut s'avérer pénalisant pour les brèches en branche froide, s'il intervient à un niveau de pression trop élevé (2/3 de l'eau contenue dans les accumulateurs peut rester bloquée, avec prise en compte des incertitudes sur les capteurs de pression).

L'isolement des accumulateurs dans les séquences SUC et RIE de la procédure ECP4 est basée sur

- o un seuil de pression fixe sur le 1300 MWe et N4 (aux environs de 15 bars) dont la valeur est ajustée lors du déploiement d'une nouvelle gestion combustible,
- o une combinaison de trois paramètres de type état (GMPP, pression primaire, niveau cuve associée au seuil APE BBC) et d'un paramètre de type événementiel (temps écoulé depuis le signal IS) pour le 900 MWe. Cette conduite est décrite dans le document en référence [2]. La figure 5 illustre le principe général pilotant l'isolement des accumulateurs sur le 900 MWe.