

RAJAONARIVELO Jocelyn

Date 08 NOV. 2012

NOTE TECHNIQUE
METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT
UN REACTEUR A EAU PRESSURISÉE
3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG

D4550.34-12/2967

Indice : 0

67 Pages

6 annexe(s)

0 pièce(s) jointe(s)

Applicabilité : CP0, CPY, P4, P'4 et N4

Référence d'affaire :
Documents associés :

Résumé :

Cette note technique décrit les méthodes d'expertise mises en œuvre en cas d'événement affectant la sûreté d'un réacteur de type REP. Elle s'adresse aux équipiers de crise en charge de l'expertise du fonctionnement des installations dans l'Organisation Nationale de Crise (EDF, AREVA et IRSN). On distingue 2 méthodes : une pour les accidents hors accident grave (méthode 3D/3P y compris une adaptation pour les états ouvert et la piscine combustible) et une autre s'inspirant de la première pour les situations d'accident grave (méthode D/P AG). Cette note constitue également une aide au remplissage de la grille de synthèse associée.

Date de réexamen :

Remplace :

Accessibilité : EDF

Durée de conservation : PALIER

Classement documentaire : Document ne relevant pas de l'archive intermédiaire

Document QS

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE METHODE 3D/3P	Page : 2 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

Ind.	Rédacteur(s)		Contrôleur(s)		Approbateur		
	Nom	Visa	Nom	Visa	Nom	Visa	Date d'application
0	J. RAJAONARIVELO <i>RAJAONARIVELO</i>	<i>[Signature]</i>	N. ROUSSEL (nadine-v.rousseau@edf.fr)	<i>[Signature]</i>	C. PILLEUX	<i>[Signature]</i>	07/11/12

Validation du document

Indice validé : _____ Date d'envoi en prédiffusion : _____

Prédiffusion formalisée : Groupe de travail : Autre méthode :

Informations complémentaires : _____

Identification du fichier : Méthodes 3D3P et DP AG.docx - 9390753 Octets - 05/11/2012 11:11:00

Identification du formulaire : _____

Historique des modifications

Indice	Date	Paragraphes modifiés / Objet
0	04/06/2012	Création du document.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 3 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

FICHE DE DIFFUSION

Diffusion interne à la Direction Production Ingénierie

Destinataire(s)	Nb	Destinataire(s)	Nb
Caroline BERNARD	1	Chefs MSQ des CNPE	19
Colette BOURBONNAIS	1	Chargés de PUI des CNPE	19
Hélène POHLENZ	1	Chefs de Service UFPI sur site	19
Véronique DELAMARE	1	Laurent GOY	1
Hervé BOLL	1	Jean-Pierre ROUX	1
Philippe MERCEL	1	Eric MORIN	1
Jean-Michel GOT	1	Vincent LOUCHE	1
Thierry PERARD	1		
Jean-François HUREL	1		
Annie LOISEL	1		
Lise PALACIOS	1		
Didier NIGER	1		
François FERRY	1		
François WROBEL	1		
Frédéric BENARD	1		
Frédéric MICHEL	1		
Frédéric ONILLON	1		
Laurent ABELLO	1		
Lionel ROUX	1		
Michel JOLY	1		
Patrice PELLE	1		
Rachid CHADDI	1		

Diffusion externe à la Direction Production Ingénierie

Destinataire(s)	Organisme(s)	Nb



SOMMAIRE

1.	OBJET	7
2.	CONTEXTE	7
3.	MÉTHODE 3D/3P	8
3.1.	LES 3 BARRIÈRES	8
3.2.	LA MÉTHODE 3D/3P	10
3.3.	LES FONCTIONS DE SÛRETÉ	10
3.3.1.	FONCTIONS DE SÛRETÉ ASSOCIÉES À LA PREMIÈRE BARRIÈRE	11
3.3.2.	FONCTIONS DE SÛRETÉ ASSOCIÉES À LA DEUXIÈME BARRIÈRE	11
3.3.2.1.	Circuit primaire fermé	11
3.3.2.2.	Circuit primaire ouvert - piscine combustible	12
3.3.3.	FONCTIONS DE SÛRETÉ ASSOCIÉES À LA TROISIÈME BARRIÈRE	12
3.3.3.1.	Fonction de sûreté « confinement »	13
3.3.3.2.	Fonction de sûreté « évacuation de la puissance du BR »	13
3.4.	LES SYSTÈMES PERMETTANT LE MAINTIEN DES FONCTIONS DE SÛRETÉ	14
3.5.	EXEMPLES	14
3.6.	DÉTERMINATION DE L'ÉTAT DES BARRIÈRES	14
3.6.1.	LA PREMIÈRE BARRIÈRE	14
3.6.1.1.	Les différents états de la première barrière	14
3.6.1.2.	Détermination qualitative de l'état de la première barrière	15
3.6.2.	LA DEUXIÈME BARRIÈRE	17
3.6.2.1.	Les différents états de la deuxième barrière	17
3.6.2.2.	Détermination qualitative de l'état de la deuxième barrière	17
3.6.3.	LA TROISIÈME BARRIÈRE	21
3.6.3.1.	Les différents états de la troisième barrière	21
3.6.3.2.	Détermination qualitative de l'état de la troisième barrière	23
3.7.	ETAT DES FONCTIONS DE SÛRETÉ DE LA PREMIÈRE BARRIÈRE ET DES SYSTÈMES ASSOCIÉS	24
3.7.1.	LA FONCTION DE SÛRETÉ « CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ »	24
3.7.2.	LA FONCTION DE SÛRETÉ « INVENTAIRE EN EAU DU RCP »	26
3.7.3.	ETAT DES FONCTIONS DE SÛRETÉ DE LA DEUXIÈME BARRIÈRE ET SYSTÈMES ASSOCIÉS	29
3.7.4.	LA FONCTION DE SÛRETÉ « ÉVACUATION DE LA PUISSANCE DU RCP »	30
3.7.5.	LA FONCTION DE SÛRETÉ « ÉVACUATION DE LA PUISSANCE DES JOINTS DES GMPP »	31
3.8.	ETAT DES FONCTIONS DE SÛRETÉ DE LA TROISIÈME BARRIÈRE ET SYSTÈMES ASSOCIÉS	31
3.8.1.	LA FONCTION DE SÛRETÉ « CONFINEMENT »	31
3.8.1.1.	État de l'« efficacité des systèmes d'isolement de l'enceinte » et systèmes associés	32
3.8.1.2.	État du « contrôle de la composition de l'atmosphère de l'enceinte » et systèmes associés	32
3.8.1.3.	État de l'« efficacité du système EDE »	33
3.8.1.4.	Circuit U5 en service	33
3.8.2.	LA FONCTION DE SÛRETÉ « ÉVACUATION DE LA PUISSANCE DU BR » ET SYSTÈMES ASSOCIÉS	33

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 5 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0
3.9. REMPLISSAGE DE LA FICHE 3D/3P - CONSIDÉRATIONS PRATIQUES ET EXEMPLES	34	
3.10. DÉMARCHE DU PRONOSTIC AGGRAVÉ	36	
3.10.1. PRINCIPE DE LA DÉMARCHE DU PRONOSTIC AGGRAVÉ.....	36	
3.10.2. JUSTIFICATION DES SITUATIONS À CONSIDÉRER DANS LE CADRE DU PRONOSTIC AGGRAVÉ	37	
3.10.3. LA DÉMARCHE DU PRONOSTIC AGGRAVÉ	37	
3.10.4. TYPES DE DÉFAILLANCE À CONSIDÉRER.....	38	
3.10.5. EXEMPLE PRATIQUE.....	38	
3.10.6. CONCLUSION	39	
4. MÉTHODE D/P AG	40	
4.1. PRINCIPES STRUCTURANTS	40	
4.2. DOMAINE D'APPLICATION	40	
4.3. LES BARRIÈRES	41	
4.3.1. LA PREMIÈRE BARRIÈRE : COMBUSTIBLE - CORIUM	41	
4.3.1.1. Les différents états de la première barrière	41	
4.3.1.2. Détermination qualitative de l'état de la première barrière	41	
4.3.2. LA DEUXIÈME BARRIÈRE : CIRCUIT PRIMAIRE	41	
4.3.2.1. Les différents états de la deuxième barrière.....	41	
4.3.2.2. Détermination qualitative de l'état de la deuxième barrière	42	
4.3.3. LA TROISIÈME BARRIÈRE : ENCEINTE	42	
4.3.3.1. Les différents états de la troisième barrière	42	
4.3.3.2. Détermination qualitative de l'état de la troisième barrière	42	
4.4. LES FONCTIONS DE SÛRETÉ	43	
4.4.1. FONCTIONS DE SÛRETÉ ASSOCIÉES À LA PREMIÈRE BARRIÈRE	43	
4.4.1.1. La fonction de sûreté « contrôle de la réactivité »	43	
4.4.1.2. La fonction de sûreté « inventaire en eau »	43	
4.4.2. FONCTIONS DE SÛRETÉ ASSOCIÉES À LA DEUXIÈME BARRIÈRE	43	
4.4.2.1. La fonction de sûreté « évacuation de la puissance du RCP ».....	44	
4.4.2.2. La fonction de sûreté « évacuation de la puissance du fond de la cuve »	44	
4.4.3. FONCTION DE SÛRETÉ ASSOCIÉE À LA DEUXIÈME ET LA TROISIÈME BARRIÈRE	44	
4.4.3.1. La fonction de sûreté « évacuation de la puissance du corium »	44	
4.4.4. FONCTIONS DE SÛRETÉ ASSOCIÉES À LA TROISIÈME BARRIÈRE	45	
4.4.4.1. La fonction de sûreté « Inventaire en eau du puits de cuve ».....	45	
4.4.4.2. La fonction de sûreté « Inventaire en eau du BR »	45	
4.4.4.3. La fonction de sûreté « évacuation de la puissance du BR »	45	
4.4.4.4. La fonction de sûreté « contrôle de la composition de l'atmosphère de l'enceinte »	46	
4.4.4.5. La fonction de sûreté « confinement »	46	
4.4.4.6. La fonction de sûreté « inventaire en eau GV »	46	
4.5. LES MOYENS PERMETTANT DE CONTRÔLER LES FONCTIONS DE SÛRETÉ	46	
4.5.1. MOYENS ASSOCIÉS AUX FONCTIONS DE SÛRETÉ DE LA PREMIÈRE BARRIÈRE	47	
4.5.2. MOYENS ASSOCIÉS AUX FONCTIONS DE SÛRETÉ DE LA DEUXIÈME BARRIÈRE	47	
4.5.2.1. Moyens associés à la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du RCP »	47	
4.5.2.2. Moyens associés à la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du fond de la cuve »	47	

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT	Page :	6 / 67
	UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE		
	3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0
	4.5.2.3. Moyens associés à la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du corium »		47
4.5.3. MOYENS ASSOCIÉS AUX FONCTIONS DE SÛRETÉ DE LA TROISIÈME BARRIÈRE			47
4.5.3.1. Moyens associés à la fonction de sûreté « inventaire en eau du puits de cuve »			47
4.5.3.2. Moyens associés à la fonction de sûreté « inventaire en eau du BR »			47
4.5.3.3. Moyens associés à la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du BR »			47
4.5.3.4. Moyens associés à la fonction de sûreté « contrôle de la composition de l'atmosphère »			47
4.5.3.5. Moyens associés à la fonction de sûreté « confinement »			48
4.5.3.6. Moyens associés à la fonction de sûreté « inventaire en eau des GV »			48
4.6. LA MÉTHODE D/P AG			48
5. LISTE DES ANNEXES			49
6. LISTE DES DOCUMENTS SUPPORTS			49
7. LISTE DES ABRÉVIATIONS ET GLOSSAIRE			49

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 7 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

1. OBJET

Cette note technique s'adresse aux agents EDF d'astreinte PUI sur site et d'astreinte ETC-N au niveau national en charge de l'expertise technique en cas d'accident sur un réacteur à eau pressurisée (REP). Elle s'adresse aussi aux ingénieurs d'AREVA en charge de l'expertise technique. Elle décrit la méthode 3D/3P rénovée pour un accident hors accident grave (adaptation pour la prise en compte des états ouvert et de la piscine combustible) et la méthode D/P AG pour un accident grave (adaptation de la méthode 3D/3P). Ces méthodes sont partagées avec l'IRSN dans le cadre du GCAC (Groupe de Coordination des Activités de Crise). Cette note constitue une aide au remplissage de la grille associée utilisée par les différentes équipes des centres de réflexion de l'organisation nationale de crise (EDF et pouvoirs publics). **Il est à noter que cette note évoluera pour intégrer une méthodologie dédiée aux états ouvert et à la piscine BK (en cours d'instruction avec l'IRSN dans le cadre du Groupe de Coordination des Activités de Crise).**

Le remplissage de la grille, effectué régulièrement et au plus tard avant chaque point de concertation à l'audioconférence dite 3D/3P avec les équipes de crise EDF (locale et nationale) et IRSN, permet de réunir l'animateur et les spécialistes de l'ETC-N et d'instaurer un dialogue technique afin d'évaluer au mieux l'état de l'installation, de pronostiquer son évolution et de décider des expertises ou des quantifications à mener. **EDF a associé à cette grille, un message de synthèse (voir annexe 4) précisant si nécessaire les écarts d'expertise avec l'appui technique de l'ASN (IRSN).**

Chaque partie de cette note rappelle l'objectif visé, le raisonnement associé ainsi que les actions à réaliser. Parfois, un exemple d'application est proposé.

NB : Cette note remplace la note référencée D4002-43.2.1 NT 95/08 [1] pour la partie fonctionnement des installations. Elle décline pour EDF, les notes techniques IRSN référencées DEI/SESUC/06-98 [2] et DEI/SESUC/08-98 [4].

2. CONTEXTE

La méthode 3D/3P (triple diagnostic/triple pronostic) a été élaborée en commun avec l'IRSN. Elle a pour objectif de structurer les réflexions des différentes équipes techniques de crise en cas d'accident affectant un REP et de faciliter le dialogue entre elles. Ainsi, elle permet de structurer et d'uniformiser la façon d'analyser un accident par les spécialistes d'EDF et de l'IRSN ; en ce sens, elle a largement contribué à améliorer l'efficacité du cercle d'expertise de l'Organisation Nationale de Crise (ONC). De plus, la grille élaborée en support et la fiche de synthèse associée constituent des moyens efficaces d'information des Postes de Commandement Direction (PCD).

Cette méthode permet d'effectuer, de manière exhaustive, un point précis de l'état de l'installation et de pronostiquer son évolution en fonction des informations disponibles. Elle consiste à réaliser un diagnostic des 3 barrières physiques qui s'interposent entre les produits radioactifs contenus dans le cœur du réacteur et l'environnement, puis un pronostic de l'évolution de ces 3 barrières. **La méthode 3D/3P vise à identifier et, autant que possible, anticiper l'occurrence éventuelle de rejets de radioactivité dans l'environnement afin de protéger les populations environnantes le plus efficacement possible.** Dans certains cas, cette anticipation n'est pas suffisante pour mettre en œuvre des actions de protection des populations avant le début de rejets significatifs. C'est pourquoi, **la méthode a été complétée par la suite à l'initiative de l'IRSN par l'introduction de la notion de pronostic aggravé (uniquement à la charge du niveau national EDF, d'AREVA et de l'IRSN).** La démarche du pronostic aggravé consiste à évaluer le comportement de l'installation si une défaillance supplémentaire, hypothétique et indépendante de la séquence accidentelle en cours ou de la stratégie de conduite mise en œuvre, survient.

En revanche, cette méthode n'est plus complètement adaptée à l'analyse des **situations d'accident grave**, c'est-à-dire lorsque la dégradation du cœur est avérée (fusion partielle ou totale du combustible). En effet, en accident grave, le rôle des deux premières barrières va progressivement s'amenuiser, des risques propres à ces situations vont apparaître, des moyens de diagnostiquer précisément l'état de l'installation vont être perdus. Il a donc été décidé avec l'IRSN, dans le cadre du GCAC (Groupe de Coordination des Activités de Crise), d'adapter la méthode 3D/3P à ces états dégradés de l'installation et de définir une **méthode D/P AG**, mieux adaptée à ces situations.



Il est à noter que les expertises concernant les caractéristiques de brèche (identification de la taille,...), délai de découverte (de fusion) suite à la perte des appoints, du risque hydrogène et toutes analyses nécessitant l'utilisation de codes de calculs ou d'outils thermohydrauliques ne concernent que le niveau national de l'Organisation Nationale de Crise (ETC-N, SEPTEN, AREVA et IRSN). Les CNPE sont destinataires du résultat de ces expertises.

Par ailleurs, lorsque des tableaux de données sont fournis, ils le sont à titre indicatif. En effet, suivant la gestion combustible et les évolutions documentaires et matérielles (PTD, VD,...), les valeurs sont différentes d'une tranche à une autre sur un même palier. Il faut donc valider les informations en fonction de la tranche concernée par l'événement ayant conduit à la mise en œuvre de la méthode 3D/3P ou DP AG.

3. MÉTHODE 3D/3P

Cette partie décrit les concepts de la méthode 3D/3P et les principes de son application.

3.1. LES 3 BARRIÈRES

Par conception des REP, trois barrières physiques s'interposent entre les produits radioactifs contenus dans le combustible et l'environnement. La première barrière est constituée par la gaine des crayons combustibles et la matrice du combustible. La deuxième barrière est constituée par l'enveloppe du circuit primaire du réacteur (bâche d'effluents et circuits connectés compris). Enfin, la troisième barrière est constituée par l'enceinte de confinement et ses extensions qui isolent la chaudière nucléaire de l'environnement. L'enceinte de confinement est constituée du bâtiment réacteur lui-même, des pénétrations de ce bâtiment (tampon matériel, sas, traversées, tube de transfert des assemblages combustible) et de ses extensions, composées :

- d'une part (figure 2) :
 - des tuyauteries vapeur entre les traversées du BR et les GV,
 - de l'enveloppe extérieure des GV,
 - de la plaque tubulaire des GV,
 - des tubes des GV,
 - des tuyauteries d'eau alimentaire des GV,
 - des tuyauteries de purge et d'échantillonnage des GV,
- d'autre part (figure 1), par l'enveloppe des circuits véhiculant du fluide primaire ou contaminé tel que les lignes de recirculation de l'injection de sécurité ou de l'aspersion enceinte.

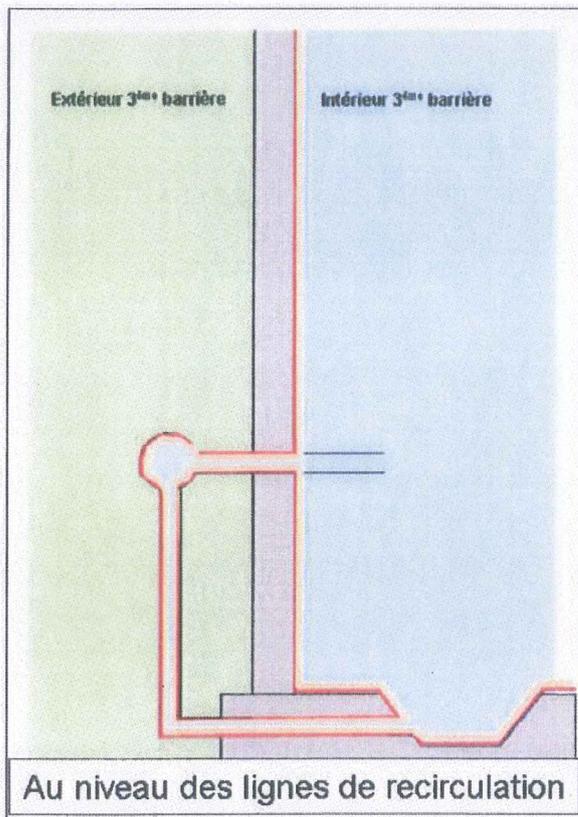


Figure 1

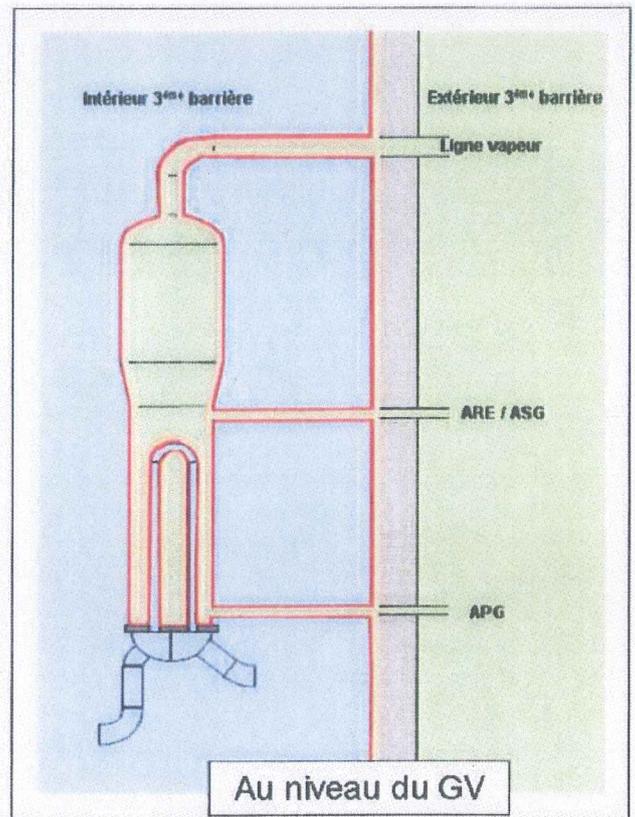


Figure 2

Il est important de noter qu'au niveau des tubes des GV, la deuxième et la troisième barrière sont confondues. Dans le cas des enceintes doubles, la dépression dans l'espace entre enceinte entretenue par la ventilation et la filtration associée font partie intégrantes de la troisième barrière. En cas d'arrêt de la ventilation, la dépression va s'annuler et l'état de la troisième barrière sera alors considéré comme étant dégradé. De même, si la filtration associée à la ventilation de l'espace entre enceinte est défaillante, on sera en présence de fuites collectées non filtrées.

Notons aussi que par conception, la troisième barrière n'est pas étanche : il existe toujours, quel que soit l'état de l'enceinte, des fuites naturelles dont le taux doit être inférieur à un seuil réglementaire. Si les fuites de l'enceinte ne dépassent pas ce seuil, la troisième barrière est considérée comme étant intègre. Dans le cas contraire, son état est dégradé.

Dans le cas du bâtiment combustible, les concepts précédents restent néanmoins utilisables.

Un accident sur un réacteur nucléaire se caractérise par la défaillance ou un risque de défaillance d'une ou de plusieurs de ces trois barrières. On peut ainsi remarquer qu'il ne peut y avoir de rejet significatif de particules radioactives dans l'environnement que si deux barrières au moins sont défaillantes.

Le contour des barrières peut changer suivant l'état du réacteur. En effet, lorsque le circuit primaire est ouvert, il n'y a pas pour autant de transfert significatif d'activité dans le bâtiment réacteur bien que l'étanchéité du circuit ne soit plus assurée. Dans le cas du circuit primaire ouvert, c'est l'eau primaire qui confine les particules radioactives, et plus précisément son état thermodynamique. En effet, si cette dernière entre en ébullition, un relâchement d'activité dans le bâtiment réacteur est possible. La seconde barrière est donc constituée par tout ce qui maintient en l'état l'eau primaire, c'est-à-dire les parois du volume la contenant et son état sous-saturé. Évidemment, dans ces conditions, la seconde barrière est moins « efficace » que dans le cas d'un circuit primaire fermé.

Le même raisonnement s'applique au cas de la piscine de stockage du combustible (piscine BK). Le tableau 1 résume la définition des trois barrières pour un REP :

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 10 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

	RCP fermé	RCP ouvert	Piscine BK
1 ^{ère} barrière	Matrice du combustible et gaines		
2 ^{ème} barrière	Enveloppe du circuit primaire	Éléments du circuit primaire contenant l'eau primaire et état sous- saturé de l'eau primaire	Piscine BK et état sous- saturé de l'eau de la piscine
3 ^{ème} barrière	Enceinte de confinement et ses extensions		Bâtiment combustible

Tableau 1

3.2. LA MÉTHODE 3D/3P

La méthode 3D/3P consiste à évaluer périodiquement l'état des trois barrières (triple diagnostic) et leur évolution prévisible (triple pronostic) afin de caractériser le rejet réel et/ou potentiel d'activité dans l'environnement. Pour chaque barrière, on distingue une phase de diagnostic suivie d'une phase de pronostic :

- phase de diagnostic :
 - l'état de la barrière est évalué;
 - les fonctions de sûreté garantissant le maintien de la barrière sont caractérisées en termes de marge;
 - les systèmes participant au maintien des fonctions de sûreté sont identifiés;
- phase de pronostic :
 - la disponibilité à terme des systèmes participant au maintien des fonctions de sûreté est examinée (sans prendre en compte de défaillance supplémentaire dont la cause serait indépendante de l'accident);
 - l'évolution à terme des fonctions de sûreté est déduite de la disponibilité à terme des systèmes;
 - l'état à terme de la barrière est déduit de l'état à terme des fonctions de sûreté associées.

Par ailleurs, il est nécessaire de quantifier le **délai disponible** avant le début de rejets radioactifs éventuels et d'estimer la **quantité d'activité rejetée** dans l'environnement. L'estimation prévisionnelle est réalisée pour les 24 heures à venir après le changement d'état éventuel des 3 barrières. A partir de ces informations, il sera alors possible de calculer les conséquences dans l'environnement pour décider des actions de protection de la population les plus appropriées à la situation.

Cette méthode a pour vocation de détecter le plus tôt possible tout événement susceptible de conduire à terme à un rejet d'activité dans l'environnement.

3.3. LES FONCTIONS DE SÛRETÉ

A chaque barrière, sont associées une ou plusieurs « fonctions de sûreté ». La ou les fonctions de sûreté associées à chaque barrière correspondent à une ou à des conditions qui doivent être nécessairement vérifiées afin de conserver l'intégrité de la barrière ou d'éviter une dégradation supplémentaire si cette barrière a perdu antérieurement son intégrité.

Par exemple, pour éviter la dégradation des gaines du combustible, il est nécessaire que celles-ci soient constamment refroidies en évacuant la puissance du cœur par circulation d'eau dans le circuit primaire. Une condition nécessaire pour assurer ce refroidissement est de disposer de suffisamment d'eau dans le circuit primaire pour éviter le dénoyage du cœur. L'inventaire en eau du circuit primaire est donc une fonction de sûreté nécessaire pour assurer l'intégrité de la première barrière.



Il est à noter que les fonctions de sûreté définies dans le cadre de la méthode 3D/3P ne correspondent ni aux fonctions de sûreté de la conduite événementielle, ni aux fonctions d'état de la conduite APE. Elles sont spécifiques à la méthode 3D/3P d'analyse d'un accident et sont définies par rapport aux barrières physiques qui s'interposent entre les produits de fission et l'environnement. Les différentes fonctions associées aux trois barrières sont décrites ci-après. Par exemple la fonction « évacuation de la puissance du RCP au niveau des joints des joints des GMPP » décrite au paragraphe 3.3.2.1 n'est pas une fonction de sûreté au sens classique du terme (Refroidissement – Réactivité – Confinement).

3.3.1. FONCTIONS DE SÛRETÉ ASSOCIÉES À LA PREMIÈRE BARRIÈRE

L'intégrité des gaines et du combustible est assurée à condition que leur température ne dépasse pas une certaine limite. Deux phénomènes peuvent conduire à une augmentation de la température des gaines : une augmentation excessive de l'énergie produite par le cœur du réacteur et/ou une dégradation du refroidissement du combustible. Pour éviter une production excessive d'énergie dans le cœur, il faut maintenir le cœur du réacteur dans un état critique ou sous-critique. A l'entrée dans un domaine de fonctionnement accidentel, le cœur peut être au plus critique pendant une courte durée, puis sous-critique pour passer en état de repli. Une des fonctions de sûreté qui garantit l'intégrité du combustible est donc la fonction « contrôle de la réactivité ».

Par ailleurs, pour assurer le refroidissement constant du combustible, que le réacteur soit en puissance ou à l'arrêt, il est nécessaire de pouvoir évacuer la puissance du cœur par l'intermédiaire de l'eau du circuit primaire qui sert de caloporteur jusqu'aux générateurs de vapeur ou aux échangeurs du circuit RRA, systèmes qui permettent l'évacuation de l'énergie du circuit primaire en fonctionnement normal (on peut aussi noter que les brèches sur le circuit primaire participent à l'évacuation de la puissance par transfert d'énergie dans le bâtiment réacteur). L'autre fonction de sûreté qui garantit l'intégrité des gaines est donc la fonction « inventaire en eau du RCP ».

Dans le cas d'accident concernant la piscine de stockage du combustible (piscine BK), on s'intéressera au maintien de la sous-criticité (fonction « contrôle de la réactivité ») et la fonction de sûreté « inventaire en eau du circuit primaire » devient « inventaire en eau de la piscine BK ».

3.3.2. FONCTIONS DE SÛRETÉ ASSOCIÉES À LA DEUXIÈME BARRIÈRE

3.3.2.1. Circuit primaire fermé

Il ne peut y avoir de rejet d'activité dans l'environnement si le circuit primaire est intègre (les bâches de stockage des effluents radioactifs sont considérées comme faisant partie du circuit primaire ainsi que tous les circuits qui y sont connectés). Plusieurs causes peuvent engendrer une rupture de ce circuit (piquage défaillant, rupture de tube(s) de générateur de vapeur, ouverture d'une soupape, détérioration des joints des motopompes primaires par exemples).

Pour rompre l'enveloppe du circuit primaire, il y a nécessairement présence de défauts de conception ou de contraintes mécaniques excessives. Les ruptures de la seconde barrière liées aux défauts de conception ne sont pas prévisibles. Aucune fonction de sûreté n'y est donc associée dans le cadre de la méthode 3D/3P. De même, les ordres intempestifs d'ouverture d'une ou de plusieurs lignes de décharge du pressuriseur (LDP) n'étant pas non plus prévisibles, aucune fonction de sûreté n'y est associée.

Les contraintes mécaniques excessives peuvent être engendrées soit par des événements extérieurs à l'installation (séisme par exemple), soit par une augmentation en pression et en température du circuit primaire. Comme pour les défauts de conception, les événements extérieurs n'étant pas prévisibles, il n'a pas été défini de fonction de sûreté associée.



**METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT
UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE
3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG**

Page : 12 / 67

Réf. : D4550.34-12/2967

Indice : 0

La montée en pression et en température du circuit primaire conduisant soit à la sollicitation de soupapes, soit à des ruptures de tuyauterie, est due à une accumulation d'énergie dans celui-ci. Pour éviter une détérioration de la deuxième barrière, il est donc indispensable d'extraire suffisamment d'énergie du circuit primaire. La fonction de sûreté associée à la seconde barrière est donc la fonction « **évacuation de la puissance du RCP** ». La détérioration de la deuxième barrière peut aussi être la conséquence de la rupture d'un ou de plusieurs tubes de générateur de vapeur consécutive à une trop grande différence de pression entre les circuits primaire et secondaire (pressurisation excessive du circuit primaire et/ou une dépressurisation du circuit secondaire). Les ruptures ayant pour origine des défauts mécaniques ou des contraintes extérieures importantes ne sont pas prévisibles. Aucune fonction de sûreté n'y est donc associée. La dépressurisation du circuit secondaire ne peut avoir comme origine qu'une rupture du circuit (RTV ou RTE). Comme la défaillance du circuit secondaire n'est pas un événement prévisible, aucune fonction de sûreté associée n'a été définie dans le cadre de la méthode 3D/3P. La pressurisation excessive du circuit primaire est, quant à elle, liée à la fonction de sûreté « **évacuation de la puissance du RCP** ».

Il existe enfin une possibilité de dégradation de la seconde barrière par l'apparition de brèches au niveau des joints des pompes primaires. Pour éviter leur défaillance, il faut nécessairement les refroidir soit par injection d'eau froide via le circuit RCV, soit par l'intermédiaire du circuit de refroidissement intermédiaire RRI. Une autre fonction de sûreté associée à la seconde barrière est donc l'« **évacuation de la puissance du RCP au niveau des joints des GMPP** ».

En conclusion, deux fonctions de sûreté sont retenues pour la seconde barrière :

- la fonction « **évacuation de la puissance du RCP** »,
- la fonction « **évacuation de la puissance du RCP au niveau des joints des GMPP** ».

3.3.2.2. Circuit primaire ouvert - piscine combustible

La méthode 3D/3P telle que définie dans sa version initiale s'applique aux accidents survenant circuit primaire fermé. Elle peut s'adapter aux cas des accidents survenant lorsque le circuit primaire est ouvert ou au cas des accidents affectant la piscine de refroidissement du combustible (piscine BK) en étendant la notion de seconde barrière à l'état thermodynamique de l'eau de refroidissement du combustible. En effet, dans ces cas de figure, c'est l'eau recouvrant le combustible qui joue le rôle de barrière entre les produits de fission et l'atmosphère du bâtiment réacteur ou du bâtiment combustible. La dégradation de la deuxième barrière correspond à la vaporisation de cette eau et/ou à la vidange du volume contenant le combustible (fuite en fond de cuve ou de piscine par exemple).

Les états de la deuxième barrière deviennent alors :

1. eau sous-saturée ou deuxième barrière intègre,
2. eau saturée, correspondant à une dégradation de l'état de la deuxième barrière,
3. brèche sous le niveau d'eau minimum requis dans la piscine BK ou dans le RCP conduisant soit au découverture des éléments combustibles soit à la perte des systèmes permettant leur refroidissement.

La vidange excessive du RCP ou de la piscine BK n'étant pas prévisible, le maintien de l'intégrité de la deuxième barrière est donc lié à la fonction de sûreté « **évacuation de la puissance du RCP** »/« **évacuation de la puissance de la piscine BK** ».

3.3.3. FONCTIONS DE SÛRETÉ ASSOCIÉES À LA TROISIÈME BARRIÈRE

Les fonctions de sûreté qui garantissent l'intégrité de la troisième barrière sont les fonctions « **confinement** » et « **évacuation de la puissance du BR** ».

La fonction de sûreté « **confinement** » est liée à l'efficacité de la fermeture des traversées enceinte qui assurent l'isolement « mécanique » du BR et au contrôle de la composition de l'atmosphère de l'enceinte qui assure le maintien de conditions non propices à la combustion de l'hydrogène émis pour une grande partie lors de la dégradation du cœur. Pour le cas des doubles enceintes, la fonction « **confinement** » est également liée à l'efficacité du système de ventilation et de filtration EDE qui collecte les fuites de la première enceinte afin d'en réduire la concentration en particules radioactives avant de les rejeter, via la cheminée, dans l'environnement. La fonction de sûreté « **évacuation de la puissance du BR** » garantit plus particulièrement le maintien de conditions thermo hydrauliques en deçà des conditions de dimensionnement de l'enceinte de confinement.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 13 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

3.3.3.1. Fonction de sûreté « confinement »

3.3.3.1.1. « Efficacité des systèmes d'isolement de l'enceinte »

Un certain nombre de situations incidentelles ne nécessite pas dans un premier temps d'isoler l'enceinte (les situations de perte de fonctions supports sans démarrage de l'IS, telles que les situations H1 ou H2 par exemple). Bien que non isolée, la troisième barrière n'est pas considérée comme étant défaillante à condition que l'on puisse compter sur la disponibilité des systèmes d'isolement. Le maintien de l'intégrité de la troisième barrière est donc garanti par la sous-fonction « efficacité des systèmes d'isolement de l'enceinte ».

3.3.3.1.2. « Contrôle de la composition et des conditions thermodynamiques de l'atmosphère de l'enceinte »

Un autre mode possible de défaillance de la troisième barrière est l'endommagement possible d'une partie sensible de l'enceinte de confinement suite à une explosion d'hydrogène et éventuellement de monoxyde de carbone. Plusieurs conditions sont nécessaires pour arriver à une combustion de l'hydrogène :

- libérer dans l'enceinte une quantité suffisante d'hydrogène,
- avoir un mélange {air + eau + H₂} approprié (cf. diagramme de Shapiro),
- disposer d'un igniteur.

La première condition nécessite d'avoir un cœur fortement dégradé, ce qui signifie que la problématique du risque de combustion de l'hydrogène ne se pose que dans le cas d'un accident grave.

La seconde condition nécessite d'avoir des proportions d'hydrogène, d'air et de vapeur d'eau très particulières pour pouvoir amorcer la combustion de l'hydrogène, la vapeur d'eau étant un inertant vis-à-vis de la réaction de combustion de l'hydrogène. Le positionnement de la composition de l'atmosphère de l'enceinte dans un diagramme de Shapiro permet de déterminer si le mélange est inflammable voire détonnant.

Enfin, pour observer une combustion du mélange, une source d'énergie doit être disponible à proximité. Seule la seconde condition peut être en partie contrôlée. En particulier, il est important de noter que le fonctionnement de l'EAS, en condensant la vapeur d'eau de l'atmosphère enceinte, augmente le risque de Combustion de l'hydrogène.

3.3.3.1.3. « Efficacité du système EDE » (pour les enceintes doubles)

Dans le cas des enceintes doubles, un système de ventilation maintient l'espace entre enceinte (EEE) en dépression et collecte les fuites de la première enceinte pour les purifier avant rejet dans l'environnement par la cheminée. Le système EDE possède deux modes de fonctionnement :

- Fonctionnement en marche normale : le circuit est en fonctionnement permanent (sur une unique file disposant d'un filtre THE, mais ne comprenant pas de piège à iode) durant toutes les phases de fonctionnement du réacteur (excepté pendant les périodes d'arrêt de tranche pour les opérations de chargement-déchargement) ;
- Fonctionnement en situation accidentelle : sur perte de la dépression, sur signal d'injection de sécurité ou sur critères d'activité dans la cheminée, le système bascule sur les 2 files munies de pièges à iode.

Comme pour l'efficacité des systèmes d'isolement de l'enceinte, certaines situations incidentelles ne nécessitent pas de basculer sur l'extraction iode du système. Par conséquent, si l'efficacité du système EDE est assurée, alors l'intégrité de la troisième barrière est garantie.

3.3.3.2. Fonction de sûreté « évacuation de la puissance du BR »

En cas de transfert important d'énergie à l'intérieur du bâtiment réacteur, il est nécessaire de l'évacuer pour éviter la pressurisation excessive du BR. En effet, si cela n'est pas possible, la pression et la température à l'intérieur du bâtiment réacteur peuvent augmenter jusqu'à nécessiter l'ouverture du filtre à sable (procédure U5), ou, si rien n'est entrepris, entraîner la ruine de l'enceinte. Une condition nécessaire pour garantir l'intégrité de la troisième barrière est donc d'assurer une évacuation suffisante de la puissance du BR.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	14 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

3.4. LES SYSTÈMES PERMETTANT LE MAINTIEN DES FONCTIONS DE SÛRETÉ

Après avoir déterminé l'état des barrières, les experts de crise vont identifier les systèmes qui participent au maintien des fonctions de sûreté associées.

Par exemple, l'inventaire en eau du RCP peut être assuré par le fonctionnement des systèmes RIS, RCV ou tout autre système permettant d'amener de l'eau dans le circuit primaire de façon suffisante. Les experts doivent veiller non seulement au bon fonctionnement des pompes mais aussi s'assurer que les réserves en eau dans les bâches sont suffisantes et qu'un débit suffisant d'injection dans le RCP est établi.

A partir de la connaissance des systèmes utilisés pour maintenir les fonctions de sûreté, et par conséquent l'intégrité des barrières, les experts doivent s'interroger sur la disponibilité à terme de ces systèmes. Elle doit être évaluée à partir d'événements prévisibles de la séquence accidentelle en cours et de la stratégie de conduite poursuivie, sans postuler de défaillance supplémentaire.

Connaissant la disponibilité des systèmes, les experts en déduisent l'état à terme des 3 barrières à partir de l'évolution des fonctions de sûreté.

Le pronostic de l'état des trois barrières permet alors de prévoir et quantifier le rejet radioactif dans l'environnement.

3.5. EXEMPLES

Pour illustrer la démarche 3D/3P, intéressons-nous à l'état des deux premières barrières dans le cas de la perte totale de l'alimentation en eau des générateurs de vapeur (GV). Initialement, les GV sont disponibles (ou utilisables : nouveau vocabulaire APE) mais non alimentés, le circuit primaire est intègre et l'IS est disponible. La fonction de sûreté associée à la seconde barrière « évacuation de la puissance du RCP » est assurée par l'eau contenue dans les GV. A terme, l'ASG n'étant pas disponible, les GV vont s'assécher et la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du RCP » ne sera plus assurée par les GV mais par la mise en œuvre du gavé-ouvert avec mise en service de l'IS et ouverture des LDP entraînant la création d'une brèche volontaire sur la seconde barrière. Le fonctionnement de l'IS permet de maintenir la fonction de sûreté « inventaire en eau du RCP » associée à la première barrière et d'éviter, par conséquent, la dégradation de la première barrière.

Si on reprend le même raisonnement en faisant maintenant l'hypothèse que l'IS n'est pas disponible lorsque les LDP sont ouvertes, la fonction de sûreté « évacuation de la puissance RCP » ne sera plus assurée à terme, ce qui entraînera l'ouverture d'une brèche sur le circuit primaire. L'IS étant indisponible, la fonction de sûreté « inventaire en eau du RCP » ne pourra pas être assurée. La dégradation de la première barrière et du combustible est alors inévitable.

En complément, les équipes de crise doivent évaluer le délai avant le passage en gavé-ouvert puis, si cela est nécessaire, évaluer le délai disponible avant le début du dénoyage du cœur.

La suite du document précise la façon d'appliquer la méthode 3D/3P et fournit une aide au remplissage de la grille associée, présentée en annexe 1. Seuls les états « circuit primaire fermé » seront abordés. En cas d'événement survenant lorsque le circuit primaire est ouvert, couvercle cuve déposée, ou dans le bâtiment combustible, les principes énoncés doivent permettre aux experts d'adapter la méthode qui reste inchangée ; seuls les paramètres de l'installation permettant d'effectuer le diagnostic et les systèmes utilisés pour assurer les fonctions de sûreté sont susceptibles de varier en fonction de la situation à traiter.

3.6. DÉTERMINATION DE L'ÉTAT DES BARRIÈRES

Avant toute analyse approfondie de l'accident et de son évolution, il est nécessaire de déterminer précisément l'état des barrières.

3.6.1. LA PREMIÈRE BARRIÈRE

3.6.1.1. Les différents états de la première barrière

Trois états de dégradation ont été retenus dans la méthode 3D/3P :

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 15 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

- pas de rupture de gaines,
- ruptures de gaines,
- fusion.

L'état « pas de rupture de gaines » correspond à un cœur intact. En situation de crise, on considère dans ce cas que seule l'activité initiale du circuit primaire peut être relâchée, augmentée d'une partie de l'activité contenue dans le gap et générée à la suite du transitoire de température et de pression primaires au moment de l'arrêt automatique du réacteur (« pic d'iode »).

L'état « rupture de gaines » correspond à des dégradations des gaines dues uniquement à l'accident. Les éventuelles inétanchéités préexistantes du combustible ne sont pas considérées comme une dégradation du cœur pour autant qu'elles restent limitées (c'est-à-dire qu'elles restent conformes aux spécifications techniques d'exploitation).

L'état « fusion » correspond au relâchement des produits de fission les plus volatils contenus dans le combustible. Lorsque les équipes de crise utilisent le terme « 100% de fusion du cœur », cela correspond en fait à l'émission totale en dehors du cœur des produits de fission de la famille des gaz rares et de la majorité des produits de fission les plus volatils (iodes, césiums et tellures). A ce stade de la dégradation, la géométrie du cœur est généralement intacte. Par la suite, les pastilles de combustible vont fondre et la géométrie du cœur sera profondément modifiée.

3.6.1.2. Détermination qualitative de l'état de la première barrière

Il s'agit de déterminer rapidement l'état du cœur, c'est-à-dire s'il y a eu dégradation ou non du combustible, en se basant sur :

- l'évolution des paramètres thermohydrauliques du circuit primaire,
- l'évolution des débits de dose dans le circuit primaire et dans l'enceinte,
- l'évolution de l'activité mesurée à la cheminée de la tranche.

3.6.1.2.1. Utilisation de la température maximale atteinte en sortie du cœur (TRIC max)

Prioritairement, les experts se baseront sur la valeur maximale de température atteinte en sortie cœur (TRIC max). Cette mesure permet la détection rapide d'une éventuelle dégradation du combustible, mais ne permet pas une quantification de l'état de dégradation du cœur. Les seuils retenus sont présentés en figure 3. Afin de simplifier l'analyse des équipes de crise, les valeurs de 700°C et 1100°C ont été retenues pour respectivement, la mise en évidence d'un début de ruptures de gaine et d'un début de fusion du cœur, bien que la température de dégradation du cœur dépende également, entre autres, de la pression primaire. Une fois la réaction d'oxydation du Zircaloy initiée, l'augmentation de la température des gaines est très rapide et entraîne une augmentation rapide de la mesure de température en sortie du cœur.

Il convient de souligner que la butée haute de la gamme de mesure TRIC (gamme large) est de 1200°C. Lorsque la température maximale enregistrée en sortie cœur reste inférieure à 700°C, le combustible est supposé intact. Il convient néanmoins de vérifier l'intégrité du cœur à l'aide des autres paramètres disponibles. En effet, il n'est pas exclu, par exemple, d'être confronté à des dégradations de gaines du combustible par passage d'un corps migrant à travers le cœur. Par ailleurs, il est nécessaire de disposer de tout l'historique de l'évolution de la TRIC pour pouvoir - conclure définitivement. L'acquisition de l'information par les messages 1/4 d'heure peut ne pas être suffisante pour conclure de façon définitive.

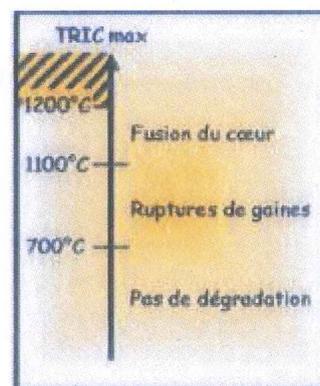


Figure 3

En effet, un pic de température peut se produire entre la rédaction de 2 messages consécutifs. L'utilisation efficace de ce paramètre est facilitée par la liaison informatique entre la tranche accidentée et les centres de crise, afin de pouvoir visualiser son évolution dans son intégralité.

De la même façon, en cas de dépassement par la TRIC de l'un des seuils définis précédemment, il est nécessaire de confirmer une éventuelle dégradation du cœur par l'évolution des autres paramètres disponibles, tel que le débit de dose enceinte ou l'activité à la cheminée.

3.6.1.2.2. Utilisation des mesures du débit de dose dans le circuit primaire et dans l'enceinte

La mesure du débit de dose dans le circuit primaire est effectuée par l'intermédiaire du circuit REN. En cas d'accident, une partie du circuit REN est isolée lors de l'isolement enceinte phase 1 et l'autre partie lors de l'isolement enceinte phase 2. Par conséquent, cette mesure de débit de dose ne donne plus d'information dès lors que l'isolement enceinte phase 2 a été réalisé (ce qui doit normalement être le cas au début de la dégradation du cœur). Néanmoins, elle peut aider à la détection d'une dégradation partielle du combustible dans le cas soit de défauts préexistants dans les crayons des assemblages du cœur, soit de détérioration des gaines par le passage d'un corps migrant.

En revanche, les mesures de débit de dose dans l'enceinte devraient rester disponibles plus longtemps, même en cas d'accident grave. Cependant, des phénomènes de dépôts locaux peuvent venir perturber les mesures et il convient de vérifier, si possible, la cohérence des mesures délivrées par les deux chaînes installées dans le bâtiment réacteur.

La confirmation du diagnostic de l'état du cœur basée sur la mesure des thermocouples en sortie du cœur doit être confirmée par l'évolution du débit de dose mesuré dans l'enceinte et notamment l'absence de dégradation doit impérativement être confirmée par l'absence d'évolution des mesures de débit de dose enceinte (toutefois, il est nécessaire d'avoir une brèche sur le circuit primaire à l'intérieur de l'enceinte pour que les mesures délivrées par ces capteurs soient significatives).

On considère que le cœur est intact si le débit de dose mesuré dans l'enceinte reste inférieur à 0,02 Gy/h. Une évolution à la hausse du débit de dose enceinte correspond à un début de dégradation du combustible. La comparaison entre la mesure maximale atteinte et celles estimées pour des accidents caractéristiques (100 % de rupture de gaines, 100 % de fusion du cœur) fournit une estimation du taux de dégradation du cœur.

La courbe en figure 4 est utilisée par EDF pour déterminer l'état du cœur. Elle est valable, en toute rigueur, dans les cas où l'EAS est hors service. Elle peut néanmoins fournir une indication intéressante même si l'EAS fonctionne.

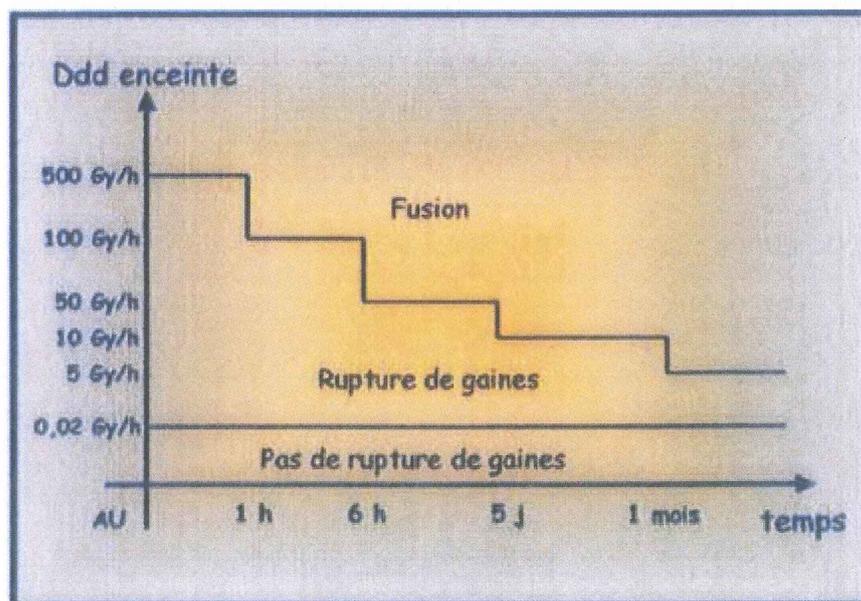


Figure 4

Il faut enfin déterminer si l'on est en présence d'une dégradation continue ou si la situation est stabilisée. En outre, si une dégradation partielle du cœur a été détectée, il faut déterminer si le refroidissement du cœur est assuré ou si la dégradation du cœur se poursuit.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 17 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
	Indice : 0	

3.6.1.2.3. Utilisation des mesures d'activité à la cheminée

Un autre paramètre peut être utilisé, mais de façon différée, pour confirmer l'état du combustible : il s'agit de l'activité mesurée dans la cheminée. Il convient au préalable de vérifier l'existence d'un débit dans la cheminée pour considérer que la mesure est représentative. Là encore, il faut comparer la valeur maximale enregistrée aux évolutions de l'activité cheminée estimée pour des accidents caractéristiques (100% de rupture de gaines, 100% de fusion du cœur). L'activité mesurée dans la cheminée peut toutefois provenir d'autre(s) bâtiment(s) que le bâtiment réacteur (BAN, BK, BW, EEE, BAS).

3.6.1.2.4. Conclusion

Ces différents paramètres doivent être tous examinés pour pouvoir estimer l'état du cœur du réacteur. Pris dans leur ensemble, ils doivent a minima permettre de savoir si le cœur est intact, s'il y a eu des ruptures de gaines ou si la fusion du cœur a débuté. Une estimation plus précise du « taux de dégradation » peut être menée par comparaison avec des évolutions préétablies de certaines mesures (débit de dose enceinte, activité cheminée). Les incertitudes restent néanmoins importantes. Les résultats obtenus doivent être utilisés avec précaution. L'ordre de grandeur des estimations de terme source qui en résulteront devront être confirmés par les premières mesures significatives effectuées dans l'environnement.

3.6.2. LA DEUXIÈME BARRIÈRE

3.6.2.1. Les différents états de la deuxième barrière

Trois états ont été retenus pour caractériser le circuit primaire dans la méthode 3D/3P :

- **intègre,**
- **doute,**
- **brèche primaire.**

En cas de brèche primaire, les experts doivent déterminer s'il s'agit :

- d'une brèche **intérieure enceinte,**
- de l'ouverture volontaire ou non d'une ou de plusieurs **LDP,**
- d'une brèche aux **joints des GMPP,**
- d'une brèche primaire **extérieure enceinte** (cas d'une brèche extérieure enceinte sur un circuit connecté au circuit primaire tel que le circuit RIS par exemple),
- d'une **RTGV** (brèche primaire/secondaire).

3.6.2.2. Détermination qualitative de l'état de la deuxième barrière

L'objectif est ici de déterminer s'il existe une brèche sur le circuit primaire et si possible de la localiser. Les experts vont notamment chercher à déterminer s'il s'agit d'une brèche primaire dans l'enceinte, d'une brèche primaire/secondaire (RTGV) ou d'une brèche primaire hors de l'enceinte sur un circuit connecté au circuit primaire. Si aucun élément ne permet de conclure à l'existence d'une telle brèche, le circuit primaire est supposé intègre. En cas d'incertitudes importantes, il est aussi possible de cocher la case « doute » de la grille 3D/3P.

Quelques remarques peuvent être faites :

- la recherche des brèches primaires doit être poursuivie lorsqu'une première brèche est mise en évidence pour identifier un éventuel cumul. Dans le même esprit, il est nécessaire de réévaluer périodiquement la taille de la brèche pour se prémunir de sa possible évolution ;
- les situations d'accidents graves sont traitées de manière particulière : il faut tenter de déterminer si la cuve est intacte ou si le corium l'a traversée (**utilisation de la méthode D/P AG développée au paragraphe 4**).

3.6.2.2.1. Brèche primaire intérieure enceinte

Identification

C'est la corrélation entre différents paramètres de l'installation qui permettra de conclure à l'existence d'une brèche primaire dans l'enceinte. Une telle brèche se caractérise par :

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	18 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

- une baisse de la pression primaire, une réduction de la marge à la saturation (ΔT_{sat}),
- une baisse du niveau d'eau dans le pressuriseur,
- une éventuelle baisse du niveau d'eau dans la cuve,
- une augmentation de la pression et de la température dans l'enceinte,
- la présence puis l'augmentation du niveau d'eau dans les puisards du BR,
- une baisse du niveau d'eau dans la bêche PTR,
- une hausse du débit de dose dans l'enceinte si le combustible est dégradé.

Localisation

La localisation de la brèche est primordiale pour pronostiquer précisément l'évolution de l'accident et en particulier l'estimation de l'heure de début du découvrement du cœur, lorsqu'un risque de dénoyage est identifié. En effet, pour réaliser une estimation correcte, il faut connaître l'instant de passage en phase vapeur au niveau de la brèche. Toutefois, la localisation d'une brèche sur le circuit primaire est souvent difficile et parfois impossible. Les spécialistes devront tenter de préciser l'endroit où se situe la brèche, parmi les localisations suivantes :

- soupapes du pressuriseur,
- pressuriseur,
- couvercle de la cuve,
- branches chaudes,
- joints des pompes primaires,
- branches froides,
- fond de la cuve.

Dans la pratique, on peut se contenter de situer la brèche parmi les localisations suivantes :

- pressuriseur,
- boucles,
- fond de cuve.

Deux types de brèche sont aisément localisables :

- celles engendrées par l'ouverture d'une ou des soupapes du pressuriseur,
- celles aux joints des pompes primaires.

Dans le premier cas, les températures mesurées en amont des LDP sont des données retransmises dans les centres de crise (ces capteurs font parties de la liste des 100 voies analogiques). Si celles-ci augmentent rapidement ou si elles sont à la température du pressuriseur (température liquide ou vapeur), on peut supposer une circulation de fluide primaire car le système comporte une garde d'eau. De plus, cette brèche peut être confirmée par une augmentation de la pression dans le RDP avant rupture du disque.

Dans le second cas, les températures mesurées en aval du retour des joints des pompes primaires permettent de statuer. En effet, si celles-ci sont égales à la température du fluide primaire, on peut supposer qu'il existe une brèche aux joints. Dans le cas contraire, ils seront considérés comme intègres.

Pour les autres localisations, seuls quelques indices permettent de localiser la brèche :

- **brèche au pressuriseur** : dans ce cas, la mesure du niveau d'eau dans le pressuriseur n'est plus représentative. S'apercevoir de l'incohérence du niveau pressuriseur peut faire penser à une brèche localisée sur le pressuriseur ;
- **brèche au sommet de la cuve** : dans ce cas, c'est la mesure de niveau cuve qui risque d'être temporairement fortement perturbée. A l'ouverture de la brèche, il doit se produire un pic important sur cette mesure. L'évolution du ΔT_{sat} couvercle peut aussi apporter une information intéressante ;

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 19 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

- **brèche en fond de cuve** : c'est la position la plus pénalisante et l'identifier est important. Constaté un dénoyage précoce ou inexplicé du cœur est un élément significatif de ce type de brèche. Les alarmes incendie reliées aux capteurs situés au fond du bâtiment réacteur peuvent être activées en présence de vapeur d'eau (REX de l'incident de CIVAUX). Il faut aussi signaler que d'autres alarmes retransmises en salle de commande peuvent permettre de confirmer la présence d'une brèche en fond de cuve pour certains paliers (à titre d'exemple, l'alarme RPE 205 AA est activée en cas de niveau haut dans le puisard du local RIC sur les tranches P4).

Pour détecter les brèches sur le circuit primaire, il convient d'être toujours attentif à tout changement d'évolution non expliqué d'un paramètre physique. Toute rupture de pente observée sur une courbe mérite d'être investiguée. La comparaison avec d'autres paramètres physiques peut apporter un faisceau d'indices concordants permettant de conclure à l'agrandissement de la brèche existante ou à l'apparition d'une nouvelle brèche nécessitant de réactualiser toutes les évaluations effectuées.

Estimation de la taille

L'estimation de la taille de la brèche peut se faire avec différentes méthodes en fonction des informations disponibles :

- à partir d'un bilan de masse dans le circuit primaire, en utilisant la baisse ou la hausse du niveau d'eau dans le pressuriseur (méthode non utilisable pour des brèches de tailles supérieures à 2 pouces tant que l'acquisition des paramètres physiques n'est effectuée que toutes les minutes) ;
- à partir du pic de pression dans l'enceinte en le comparant à des abaques (méthode applicable si la brèche est l'initiateur de l'accident dans des états chaudière bien identifiés : réacteur en puissance, en arrêt à chaud, en arrêt à froid). Néanmoins les codes de calcul des conditions thermohydrauliques de la pression dans l'enceinte comportant des incertitudes importantes, le résultat obtenu doit absolument être confirmé par une autre méthode de calcul ;
- à partir de la mesure du débit d'IS injecté dans le circuit primaire en supposant qu'en première approximation, le débit à la brèche et le débit injecté par l'IS sont équivalents, ce qui n'est vrai en toute rigueur qu'une fois la pression primaire stabilisée (méthode approximative qui donne néanmoins un ordre de grandeur acceptable de la taille de brèche) ;
- à partir de la vitesse de dépressurisation du circuit primaire ;
- à partir de l'évolution du niveau cuve (méthode la plus approximative qui peut s'avérer néanmoins utile quand aucune autre méthode d'évaluation n'est possible).

Seules les trois premières méthodes donnent des résultats suffisamment précis.

Lors de l'ouverture des brèches, le transitoire est rapide et il est nécessaire de disposer de mesures rapprochées des paramètres physiques. La plupart des méthodes de calcul de la taille de brèche nécessite de disposer de la liaison informatique entre la tranche accidentée et les centres de crise nationaux (ETC-N, SEPTEN, IRSN, AREVA).

Le calcul de la taille de brèche peut s'avérer quasiment impossible dans certaines situations :

- apparition de la brèche dans les états d'arrêt (pression enceinte inutilisable) avec indisponibilité de la liaison informatique avec la tranche (impossibilité d'utiliser l'évolution du niveau pressuriseur), l'IS inopérant et le niveau cuve indisponible ;
- agrandissement de la brèche ou apparition d'une seconde brèche avec IS indisponible (la première brèche perturbe tous les paramètres physiques qui permettraient de quantifier la taille de la seconde).

3.6.2.2.2. Brèche primaire/secondaire

Identification

La comparaison entre différents paramètres de l'installation permettra de conclure à l'existence d'une rupture de tube(s) de générateur de vapeur. Une RTGV se caractérise principalement par :

- une augmentation des activités mesurées dans les lignes vapeur des GV avant l'arrêt automatique du réacteur ; il faut que la hausse soit supérieure à 100 coups/seconde pour être représentative ;

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 20 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0
<ul style="list-style-type: none"> • une augmentation des mesures d'activité dans les lignes de purges des GV (APG), avant isolement enceinte phase 2 ; il faut que la hausse soit supérieure à deux décades pour qu'elle soit représentative ; il convient de s'assurer de l'existence d'un débit dans la ligne REN/APG (qui est autonome et qui ne dépend pas du fonctionnement de l'APG) pour que la mesure soit représentative ; • une hausse des mesures d'activité situées dans la ligne vapeur des incondensables extraits du condenseur (CVI) ; il faut que la valeur obtenue soit supérieure à 100 fois l'activité initiale pour être représentative et significative d'une RTGV. <p>Ce sont en effet les mesures d'activité au secondaire qui ont le temps de réponse le plus rapide. Il ne faut cependant pas raisonner sur les valeurs absolues des activités (problèmes de calibration et de fiabilité des informations). Il convient de considérer le domaine couvert par les différentes mesures. Toutes les chaînes (KRT APG, CVI ou VVP) sont opérables lorsque le réacteur fonctionne à plus de 20% de sa puissance nominale et sont capables de détecter des fuites de quelques litres par heure, avec toutefois une réserve en ce qui concerne les chaînes KRT des lignes APG pour lesquelles il faut au moins un débit de fuite de quelques dizaines de litres par heure si l'activité primaire est faible. A faible puissance, le temps de réponse des chaînes d'activité CVI et VVP est plus long (mais néanmoins significatif). En particulier, en arrêt à chaud ou en attente à chaud, la chaîne la plus rapide pour détecter une activité est la chaîne KRT APG, avec un temps de réponse d'environ 10 minutes compte tenu du temps de transit du fluide (à condition que l'activité primaire soit assez importante pour dépasser les seuils de détection).</p> <p>Outre l'évolution de ces paramètres, une RTGV se caractérise aussi par :</p> <ul style="list-style-type: none"> • une augmentation de la pression du GV accidenté, • une augmentation du niveau d'eau dans le GV accidenté, • une baisse de la pression primaire, • une réduction de la marge à saturation, • une absence de dégradation des conditions dans l'enceinte de confinement (sauf en cas de cumul avec une brèche primaire ou une RTV intérieure enceinte). <p>Il faut noter que l'examen de la pression secondaire n'est pas toujours probant et que l'évolution naturelle des niveaux GV peut être masquée par la conduite des systèmes ASG et APG.</p> <p>A la suite de l'identification d'une brèche primaire-secondaire, il conviendra de s'interroger sur l'existence d'une rupture de tuyauterie secondaire concomitante. En cas de rupture de tuyauterie secondaire à l'intérieur de l'enceinte, on observera :</p> <ul style="list-style-type: none"> • une augmentation du niveau des puisards du BR, • une augmentation de la pression enceinte, • une baisse brutale de la pression du ou des GV affecté(s). <p>En cas de rupture de tuyauterie secondaire extérieure enceinte, on observera une baisse brutale de la pression du ou des GV affecté(s) sans variation des paramètres intérieurs enceinte.</p> <p><u>Localisation</u></p> <p>Hormis le GV affecté, il n'est, a priori, pas possible de localiser plus précisément la brèche. En situation de crise, on suppose donc que la brèche est située en branche froide (BF) et au ras de la plaque tubulaire (position considérée comme la plus pénalisante vis-à-vis du débit à la brèche).</p> <p><u>Estimation de la taille</u></p> <p>Le calcul de la taille de brèche s'effectue :</p> <ul style="list-style-type: none"> • à partir d'un bilan de masse dans le circuit primaire, en utilisant la baisse ou la hausse du niveau d'eau dans le pressuriseur (méthode non utilisable pour des RTGV trop importantes tant que l'acquisition des paramètres physiques n'est effectuée que toutes les minutes) ; • à partir de la mesure du débit d'IS injecté dans le circuit primaire (pendant un palier de pression primaire) en supposant en première approximation que le débit à la brèche et le débit injecté par l'IS sont équivalents ; • à partir de la vitesse de dépressurisation du circuit primaire ; • à partir de la valeur du palier de pression primaire avant que l'IS ne soit arrêtée. 		

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	21 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

La RTGV étant un accident à cinétique rapide, il est utile de disposer de l'acquisition automatique des mesures toutes les minutes pour pouvoir optimiser l'évaluation par rapport à celles issues des messages 1/4 d'heure. Néanmoins, cette information utile n'est pas fondamentale vis-à-vis de la masse (eau ou vapeur) rejetée hors BR

3.6.2.2.3. Brèche primaire extérieure enceinte sur un circuit connecté au circuit primaire

Identification

Une brèche primaire extérieure enceinte (V-LOCA) se caractérise par l'évolution caractéristique d'une brèche des paramètres physiques du circuit primaire suivante :

- baisse de la pression primaire,
- diminution de la marge à la saturation (ΔT_{sat}),
- baisse du niveau d'eau dans le pressuriseur,
- baisse éventuelle du niveau d'eau dans la cuve,
- baisse du niveau d'eau dans la bêche PTR,

associée à une absence d'évolution des paramètres à l'intérieur de l'enceinte de confinement (pression, température, débit de dose et niveau dans les puisards) ou du circuit secondaire (pour caractériser une absence de RTGV). Il est peu probable que les chaînes de scrutation des bâtiments périphériques détectent la brèche tant que le cœur reste intact. La brèche extérieure enceinte peut éventuellement être confirmée par l'augmentation des niveaux d'eau dans les puisards situés dans des locaux comme le BK ou le BAN.

Une telle brèche a la particularité de bipasser l'enceinte de confinement. En cas de dégradation du cœur, les conséquences sur l'environnement peuvent être très importantes. Il est impératif de les identifier. Une autre conséquence de ce type de brèche est la vidange des réserves d'eau hors du bâtiment réacteur. A terme, le passage en recirculation de l'IS et de l'EAS est a priori compromis.

Localisation

A titre d'exemple, on citera le cas d'une brèche située sur la ligne RIS à proximité du local des pompes. L'identification pourra être effectuée à partir d'une détection d'activité sur les mesures de débit de dose des puisards RIS et de la hausse du niveau d'eau dans ces puisards.

Si la brèche est située sur la ligne RRA à proximité de la bêche PTR, l'évolution du niveau d'eau dans la bêche PTR, probablement peu importante, peut permettre d'identifier ce type de brèche. La localisation de la brèche devra être confirmée par une ronde.

Estimation de la taille

L'évaluation de la taille de la brèche se fait par les mêmes méthodes que pour les brèches intérieures enceintes, à l'exception de celle utilisant l'évolution de la pression dans l'enceinte.

3.6.3. LA TROISIÈME BARRIÈRE

3.6.3.1. Les différents états de la troisième barrière

Cinq états ont été retenus pour qualifier l'intégrité de la troisième barrière :

- **fuite normale,**
- **doute,**
- **fuite anormale directe (fuite directe),**
- **fuite anormale vers les bâtiments auxiliaires (fuite vers les bâtiments aux.),**
- **circuit U5 en service.**

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 22 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

3.6.3.1.1. Fuite normale

Même en l'absence de défaut d'isolement, les enceintes de confinement ne sont pas complètement étanches. Mise en pression, une partie de l'atmosphère du bâtiment réacteur est transférée directement dans l'environnement ou dans les bâtiments périphériques de la tranche (BAN, BAS, BK, BVW, "EEE ") par les porosités du béton. Le taux de fuite de l'enceinte, vérifié tous les 10 ans, doit respecter des critères réglementaires. Il n'est pas possible de le déterminer en situation de crise. C'est pourquoi, d'un commun accord entre les équipes de crise, le taux de fuite utilisé pour effectuer, dans un premier temps, les estimations de rejet a été fixé à une certaine valeur, fonction du palier, voire du type d'enceinte. Il faut noter que les taux de fuite considérés en crise sont sensiblement plus faibles que les taux de fuite qui doivent être respectés lors des essais pour les réacteurs en exploitation. Ils constituent une valeur moyenne des taux mesurés sur les sites lors des épreuves enceinte et sont susceptibles d'évoluer en fonction des résultats des nouvelles campagnes d'épreuves enceinte.

3.6.3.1.2. Fuite anormale directe

La fuite anormale directe (ou fuite non collectée) correspond à une fuite directe du bâtiment réacteur dans l'environnement. Elle peut par exemple avoir pour origine :

- une défaillance de l'isolement d'une traversée enceinte (case **traversée** de la grille 3D/3P),
- une défaillance des organes d'isolement du PTR lors du passage en recirculation entraînant un rejet d'activité via l'évent de la bache (case **PTR**),
- une défaillance d'une soupape GV ou éventuellement d'une RTV (case **secondaire**), cumulée avec une RTGV,
- une défaillance de l'isolement du sas matériel (case **sas matériel**).

Nota : dans le cas du palier N4, l'évent de la bache PTR est repris par la ventilation DVN. Il s'agit donc d'une fuite collectée.

Pour les paliers possédant une double enceinte, la fuite anormale directe peut avoir pour origine la perte de la dépression de l'espace entre enceinte (qui est mesurée) consécutive à la perte du système de ventilation EDE. L'EDE est conçu en trois files partant d'un même piquage dans l'EEE. En cas d'absence de ventilation dans l'EEE, les voies de rejet transitant par l'EEE sont :

- l'EDE (fonctionnement en exutoire) qui n'est équipée que d'un filtre THE (ni réchauffeur électrique ni piège à iode),
- les fissures et les porosités de l'enceinte externe : aucune rétention des produits de fission n'est retenue, mais des effets de retard et de dépôt dans l'EEE sont considérés pour les aérosols.

L'évaluation du taux de fuite de la deuxième enceinte et la valeur de partition entre les fuites transitant par la file de l'EDE en service en fonctionnement normal et les fuites transitant par les fissures sont indiqués ci-dessous :

- la deuxième enceinte ne peut pas supporter une surpression interne supérieure à 30 mbar ; si la pression dans l'EEE est supérieure à 30 mbar, on considère alors que les produits radioactifs présents dans l'EEE sont instantanément relâchés dans l'environnement,
- lorsque la pression à l'intérieur de l'enceinte de confinement est égale à 5 bar, le retour d'expérience indique qu'il faut quelques heures, en absence de l'EDE, pour augmenter la pression dans l'EEE de la valeur normale de -28 mbar à 0 mbar et que l'augmentation de pression dans l'EEE est ensuite de l'ordre de 1,5 mbar/h. A 3 mbar de surpression dans l'EEE, le taux de fuite de l'enceinte externe vaut 1 % Vol/jour.

Connaissant le taux de fuite de l'enceinte interne au cours du temps, il est possible pour chaque pas de temps de déterminer l'augmentation de pression dans l'EEE et donc le taux de fuite de la deuxième enceinte. De plus, concernant la partition entre les fuites transitant par l'EDE et les fuites transitant par les fissures, une estimation issue du retour d'expérience montre que la fraction des fuites transitant par l'EDE, et donc filtrée pour les aérosols, est égale à $(1 - 0,1 \times \Delta P)$, ΔP étant la surpression de l'espace entre enceintes

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	23 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

3.6.3.1.3. Fuite anormale vers les bâtiments auxiliaires

La fuite anormale vers les bâtiments auxiliaires (ou fuite collectée si la ventilation des bâtiments est en service) correspond à une fuite entre l'intérieur de l'enceinte de confinement et les bâtiments entourant le bâtiment réacteur. Elle est normalement reprise par un système de ventilation et de filtration. La contamination sous forme liquide est stockée dans des bâches ou des puisards. La fuite collectée peut avoir pour origine :

- une défaillance de l'isolement d'une traversée enceinte (case **traversée** de la grille 3D/3P),
- une brèche sur un circuit connecté au circuit primaire (case **circuit connecté**),
- une défaillance de l'isolement d'un sas (case **sas**).

Pour les paliers possédant une double enceinte, le système de ventilation EDE est raccordé au système de ventilation DVN qui extrait l'air des bâtiments auxiliaires, et donc de l'EEE, vers la cheminée. En cas de défaillance d'un système de purification du système EDE, on considère dans le cadre de la méthode 3D/3P que cela crée une fuite anormale vers les bâtiments auxiliaires.

3.6.3.1.4. Circuit U5 en service

Dans certaines situations hors accident grave, l'ouverture du système U5 peut être réalisée pour pallier l'indisponibilité des systèmes RRI/EAS et assurer ainsi l'évacuation de la puissance du BR. Pour tous ces cas, la case « **circuit U5 en service** » doit être cochée.

3.6.3.2. Détermination qualitative de l'état de la troisième barrière

L'appréciation de l'étanchéité de l'enceinte et l'identification d'un chemin de fuite repose sur :

- l'analyse exhaustive de l'isolement des traversées enceinte sur les signaux d'isolement enceinte première et seconde phase,
- la surveillance de la dépression de l'espace entre enceintes,
- l'analyse des mesures KRT en tenant compte de l'état de fonctionnement des ventilations,
- la surveillance systématique des traversées à risque,
- l'utilisation des balises de site et les mesures dans l'environnement en corrélant les indications qu'elles donnent avec celles fournies par l'installation (identification du cas RTGV + RTV, activité à la cheminée du BAN).

3.6.3.2.1. Isolement enceinte phase 1 et 2

La position des vannes d'isolement de l'enceinte est consultable sur le KIT/TCI/CNC N4 dans les centres de crise. Bien que les opérateurs en salle de commande effectuent une vérification de la position des organes d'isolement, il est nécessaire que les équipes techniques de crise effectuent également cette vérification.

L'identification d'une traversée non isolée permet de déterminer des chemins de fuite potentiels. Dans le meilleur des cas, la fuite sera dirigée vers les bâches d'effluents jusqu'à l'isolement en local de la traversée et/ou de la fuite si cela est possible. Il convient dans ce cas de déterminer si la traversée non isolée véhicule ou non du fluide radioactif pour l'évaluation du rejet.

3.6.3.2.2. Dépression de l'espace entre enceinte

La valeur de la dépression de l'EEE est consultable sur le KIT/TCI/CNC N4 présent dans les centres de crise. Elle est directement liée au fonctionnement de la ventilation redondante et secourue EDE. Tant qu'une dépression existe, il n'y a pas de transfert possible d'activité de l'EEE vers l'environnement et la troisième barrière est considérée comme étant non dégradée.

3.6.3.2.3. Mesures KRT

Les chaînes de mesure d'activité constituent le moyen principal d'identification d'une fuite vers les bâtiments auxiliaires. Si les ventilations sont en service, la mesure d'activité dans la cheminée peut éventuellement permettre de détecter la présence d'une fuite mais pas de la localiser. L'analyse des mesures des chaînes de scrutation dans les bâtiments figurant dans le message « confinement » doit permettre d'identifier le ou les bâtiment(s) contenant de l'activité.

Pour identifier précisément la fuite, il sera souvent nécessaire d'envoyer un rondier si cela est possible.



Pour les chaînes de scrutation situées dans les gaines de ventilation, il est nécessaire que les ventilations soient en service pour que les mesures d'activité soient représentatives.

3.6.3.2.4. Traversées à risque

Il s'agit des traversées en communication avec l'atmosphère de l'enceinte (incluant sas et tampon matériel) ainsi que des traversées amenées à véhiculer du fluide radioactif (traversées RIS, EAS en recirculation). Le retour d'expérience d'exploitation des tranches a mis en évidence des inétanchéités sur les sas du bâtiment réacteur. Il convient par conséquent de surveiller tout particulièrement ces traversées.

3.6.3.2.5. Mesures dans l'environnement

Les mesures dans l'environnement (balises fixes ou mobiles) pourraient permettre de confirmer (voire de détecter) ou d'infirmer l'existence d'un rejet radioactif à l'extérieur des bâtiments.

Dans le cas d'une RTGV, les balises environnementales peuvent permettre dans un premier temps de confirmer la présence du rejet puis, dans un second temps, de confirmer la fin de celui-ci par le rétablissement de l'intégrité de la troisième barrière (contrôle de la RTGV par les opérateurs en salle de commande) à condition évidemment qu'une balise soit située sous le vent.

En revanche, dans les cas d'accident avec fusion du cœur, une balise bien située par rapport à la direction du vent, va a minima détecter le rejet d'activité résultant des fuites naturelles de l'enceinte et éventuellement d'un bipasse de l'enceinte. En l'état actuel des connaissances, il apparaît difficile de distinguer la part de la mesure de la balise due aux fuites naturelles de l'enceinte de la part due à un éventuel défaut du confinement. L'identification, de façon précoce, d'un éventuel bipasse de la troisième barrière à l'aide des mesures d'activité dans l'environnement ne peut être garantie.

3.7. ETAT DES FONCTIONS DE SÛRETÉ DE LA PREMIÈRE BARRIÈRE ET DES SYSTÈMES ASSOCIÉS

La première barrière est associée à deux fonctions de sûreté :

- la fonction de sûreté « **contrôle de la réactivité** »,
- la fonction de sûreté « **inventaire en eau du RCP** ».

3.7.1. LA FONCTION DE SÛRETÉ « CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ »

On indiquera pour cette fonction la marge disponible par rapport au risque de retour en criticité du réacteur en fonction :

- de la concentration en bore par rapport à la CB requise en arrêt à froid (fonction du taux de combustion ou par exemple supérieure à 2000 ppm pour le CPY et 2385 ppm pour le P4),
- des mesures neutroniques,
- du refroidissement,
- des borifications en cours ou déjà effectuées,
- des dilutions éventuelles.

Le refroidissement et les dilutions du circuit primaire diminuent la marge d'anti-réactivité du réacteur. La chute des barres de commande et la borification du circuit primaire l'augmentent. En phase de pronostic, la marge disponible sera qualifiée de :

- **confortable** si la marge d'anti-réactivité est largement suffisante pour exclure tout retour en criticité du cœur (CB \geq CB requise en arrêt à froid),
- **faible** si la marge d'anti-réactivité est suffisante pour compenser le refroidissement ou une éventuelle dilution,
- **insuffisante** si la marge d'anti-réactivité n'est pas suffisante pour compenser le refroidissement ou une éventuelle dilution,
- **douteuse** si aucun élément ne permet d'apprécier la criticité du cœur.

Afin de maintenir le cœur du réacteur sous-critique, deux moyens sont utilisés :

- la chute des barres de commande,

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	25 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

- la borication du circuit primaire.

Suivant la réactivité initiale du cœur (qui dépend de l'avancement dans le cycle) et le refroidissement en cours (volontaire ou subi), l'association de ces deux moyens peut être nécessaire pour arrêter la réaction en chaîne. Pour estimer l'état de la fonction " contrôle de la réactivité ", on s'intéressera aux paramètres suivants :

- la position des barres de commande,
- les mesures fournies par les CNI (Chaînes Nucléaires Intermédiaire),
- la mesure (ou l'évaluation) de la concentration en bore du circuit primaire.

En cas d'anomalie sur la position des grappes, la salle de commande du réacteur fournira l'information. Les valeurs mesurées sur les CNI sont indiquées sur les messages 1/4 d'heure. Une évolution à la hausse de ces chaînes de mesure est représentative d'un retour en criticité.

La mesure de la concentration en bore est indiquée sur le KIT/TCI/CNC N4. Elle est rendue indisponible par l'isolement du circuit REN. La connaissance du volume et de la concentration en bore de l'eau injectée dans le circuit primaire permet alors de l'évaluer.

Le fonctionnement des pompes primaires permet d'assurer l'homogénéité de la concentration en bore dans le circuit primaire. Par contre, en l'absence de circulation forcée dans les boucles primaires, il peut se former des " bouchons d'eau claire " difficiles à caractériser et à quantifier. Les experts de crise devront en particulier être vigilants en cas de circulation bloquée dans certaines boucles (GV vides par exemple).

Les systèmes permettant de s'assurer d'une marge suffisante d'anti-réactivité sont :

- les grappes de commande,
- les systèmes permettant d'injecter de l'eau borée dans le circuit primaire :
 - le système RIS (IS et accumulateurs),
 - les systèmes REA-RCV-FBA,
 - les condamnations anti-dilution (les condamnations anti-dilution ne sont pas des systèmes mais des dispositions réglementaires ; comme elles participent néanmoins au maintien de la fonction de sûreté " contrôle de la réactivité ", elles peuvent être assimilées à un " système " permettant d'assurer une marge suffisante d'anti-réactivité).

Lorsque l'on s'intéresse à la disponibilité des systèmes RIS-REA-RCV-FBA, il est nécessaire de vérifier les réserves disponibles en eau borée et les voies d'injection possibles (cartouche de bore, PTR, accumulateurs, ballons RCV, REA).

Il est à noter que la concentration en bore de ces capacités est fonction du type de gestion combustible (P-Mox, Gemmes,...). Concernant, les capacités requises, elles sont redevables des STE. L'ETC-N doit s'informer de la situation de la tranche en accident afin de réaliser une expertise la plus pertinente possible.

Enfin, par conception, le cœur des REP est sous-critique en cas d'ébullition dans la chaudière. Il n'y a pas de risque de retour en criticité tant que la marge à saturation du circuit primaire est nulle.

Parmi les séquences accidentelles devant faire l'objet d'une attention particulière, on peut citer toutes les séquences sans brèche sur le circuit primaire (pas de participation de l'IS à la borication du RCP) nécessitant un refroidissement du circuit primaire (séquence de type H1, H3 par exemple). Il convient de vérifier que la quantité de bore injectée est suffisante.

On peut aussi citer les séquences avec RTGV sans fonctionnement des pompes primaires et de l'APG.

L'indisponibilité de l'APG nécessite d'effectuer la rétro-vidange du GV dans le circuit primaire qui peut amener, en l'absence du fonctionnement des pompes primaires, des problèmes de dilution hétérogène.

Pour statuer sur l'état de la fonction de sûreté « contrôle de la réactivité » à terme, il conviendra d'essayer de changer le lieu d'injection (branche chaude ou froide) pour éviter la cristallisation du bore.

En phase de pronostic, la fonction de sûreté « contrôle de la réactivité » pourra être également qualifiée de :

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	26 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

- **confortable** si la borication du circuit primaire est achevée ou si les stocks d'eau borée sont suffisants et les moyens d'injection disponibles,
- **faible** en cas d'impossibilité d'injecter de l'eau borée alors que la configuration de fonctionnement est identifiée à risque (rétrovidange d'un GV rupté dans le circuit primaire, injection d'eau claire avec une circulation bloquée dans certaines boucles),
- **insuffisante** si la situation accidentelle conduit à annuler la marge d'anti-réactivité disponible (cas des refroidissements incontrôlés de la chaudière),
- **doute** si aucun élément ne permet d'apprécier l'évolution à terme de la fonction.

Une prévision d'évolution de la concentration en bore peut être effectuée afin de la comparer aux seuils requis. Dans les configurations de fonctionnement à risque, la quantité d'eau claire injectée dans le RCP devra être quantifiée.

3.7.2. LA FONCTION DE SURETE « INVENTAIRE EN EAU DU RCP »

L'état de la fonction de sûreté « inventaire en eau du RCP » est déterminé en examinant le niveau pressuriseur, le niveau cuve et la marge à la saturation du circuit primaire (ΔT_{sat}).

Les quatre états de la fonction de sûreté « inventaire en eau du RCP » sont :

- **satisfaisant,**
- **dégradé,**
- **dénoyage,**
- **douteux.**

La figure 5 précise les critères associés aux trois premiers états en fonction du niveau cuve et de la marge à la saturation.

Il s'agit de critères d'état de la chaudière figurant dans les procédures d'approche par états (APE) prenant en compte l'état de fonctionnement des pompes primaires (niveau cuve gonflé ou tassé).

La partie du schéma concernant au moins une pompe primaire en service (GMPP ES) ne concerne que **les tranches n'ayant pas intégré la simplification du niveau cuve** qui amène en APE à conduire avec toutes les combinaisons possibles de pompes primaire (par exemple sur le palier 900 MWe 1, 2 ou 3 GMPP en service).

Sur le palier CPY, le dossier d'écart au PTD n°2 CIA (EMEF060019) supprime l'utilisation du niveau cuve dans la CIA primaire fermé GMPP ES. Il en est de même sur Bugey par la note EMESF050288, à Fessenheim par la note EMESF050289 et sur le N4 avec le dossier ECEF070084. **L'intégration de la simplification du niveau cuve dans ces dossiers implique que GMPP ES, l'IEP (Inventaire en Eau Primaire) est satisfaisant dès que le primaire est sous saturé ($\Delta T_{sat} \geq \epsilon$).**

Pour le palier 1300, le dossier "simplification du niveau cuve" n'est pas encore d'application dans la CIA en l'absence pour l'instant de l'intégration de la modification "Arrêt auto des GMPP" qui consiste à un déclenchement automatique des pompes primaire sur un critère de marge à la saturation nulle ($-\epsilon < \Delta T_{sat} < \epsilon$).

L'ETC-N doit s'assurer auprès du site concerné de la situation de la tranche accidentée vis-à-vis de la modification « Simplification du niveau cuve » afin de faire une expertise pertinente de la fonction « inventaire en eau du RCP » lorsqu'au moins un GMPP est en service. En effet, pour tous les sites, lorsque toutes les pompes primaire de la tranche en accident sont à l'arrêt, les critères d'évaluation de la fonction « inventaire en eau du RCP » n'évolue pas.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 27 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

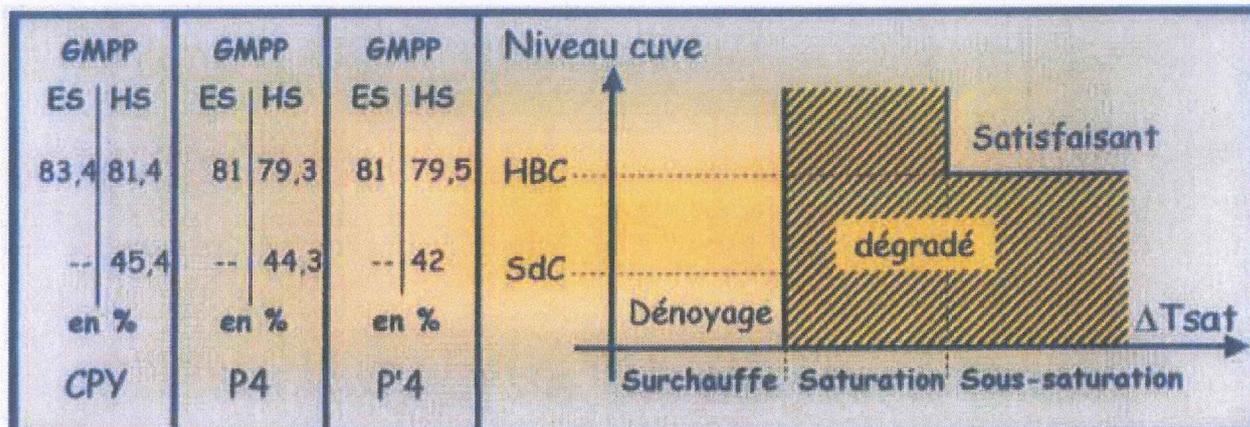


Figure 5 (valeurs indicatives)

Les systèmes associés à la fonction de sûreté « inventaire en eau du RCP » sont les réserves en eau disponibles :

- bêche PTR,
- puisards du BR après passage en recirculation de l'IS et l'EAS,
- bâches REA,
- ballon RCV,
- accumulateurs RIS,
- bâches de la tranche voisine si elles sont utilisables,

associées aux voies d'injection vers le circuit primaire et les moyens de pompage :

- circuit RIS :
 - pompes ISHP/MP, ISBP,
 - pompe de test (CPY),
 - accumulateurs,
- circuits RCV/REA :
 - pompes RCV,
 - pompe de test (PQY),
 - pompes REA,
- les moyens H4/U3,
- les lignages du GAEC appoints ultimes.

Il est indispensable de bien associer à chaque moyen d'injection les réserves en eau qui peuvent être utilisées avec ce moyen. La bonne connaissance des réserves en eau permet de déduire directement la durée de la disponibilité du système d'injection utilisé pour maintenir l'inventaire en eau dans la chaudière.

Le niveau de la bêche PTR est disponible sur le KIT/CNC N4 et sur les messages ¼ d'heure. Les valeurs des seuils figurent à titre indicatif dans les tableaux 2, 3, 4 et 5.

Niveaux PTR	CPY	P4	P'4
MIN 1 (minimum requis par les STE)	15,3 m (1662 m ³)	2803 m ³	2833 m ³
MIN 2 (basculement des débits nuls)	5,6 m (602 m ³)	973 m ³	967 m ³
MIN 3 (passage en recirculation)	2,4 m (252 m ³)	571 m ³	533 m ³
arrêt des pompes RCV	1 m (100 m ³)	150 m ³	150 m ³

Tableau 2 (valeurs indicatives)



**METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT
UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE
3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG**

Page : 28 / 67

Réf. : D4550.34-12/2967

Indice : 0

Niveaux PTR	N4
MIN 1 (pré-alarme)	2907 m ³
MIN 2 (minimum requis par les STE)	2845 m ³
MIN 3 (basculement des débits nuls)	975 m ³
MIN 4 (passage en recirculation)	480 m ³
MIN 5 (arrêt pompe RCV)	250 m ³

Tableau 3 (valeurs indicatives)

Niveaux PTR	BUGEY
MIN 1 (alarme niveau non plein PTR 001 BA)	15,75 m (1685 m ³)
Minimum requis par les STE en RP	15,70 m (1672 m ³)
MIN 2 (isolement RIS ligne de retour vers PTR 001 BA)	6 m (642 m ³)
MIN 3 (passage en recirculation)	2,60 m (235 m ³)
MIN 6 (arrêt des pompes RCV)	1 m (107 m ³)

Tableau 4 (valeurs indicatives)

Niveaux PTR	FESSENHEIM
MIN 1' (alarme niveau non plein PTR 001 BA)	15,40 m (1535 m ³)
MIN 1 (minimum requis par les STE en RP)	15,25 m (1520 m ³)
MIN 2 (isolement RIS ligne de retour vers PTR 001 BA)	6 m (575 m ³)
MIN 3 (passage en recirculation)	2,15 m (180 m ³)
MIN 4 (arrêt des pompes RCV)	0,5 m (50 m ³)

Tableau 5 (valeurs indicatives)

Une attention toute particulière doit être apportée au moment du passage en recirculation de l'IS qui, en cas de dysfonctionnement, peut conduire à l'indisponibilité d'une ou des deux files d'IS. Une fois la bache PTR vide, les réserves d'eau pour l'IS sont constituées par l'eau perdue à la brèche qui est collectée dans les puisards situés au fond du bâtiment réacteur. Les seuils des niveaux puisards (min 1, max 1 et max 2) sont disponibles sur le KIT/TCI/CNC N4 et figurent dans les messages ¼ d'heure.

Les niveaux d'eau des baches REA sont disponibles sur le KIT/TCI/CNC N4. Il est possible aussi de les faire confirmer par l'exploitant à l'audioconférence.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 29 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

La mesure de niveau des accumulateurs sert uniquement pour leur remplissage. La gamme de mesure du niveau d'eau est de faible amplitude. L'injection d'eau dans le circuit primaire fait rapidement sortir le niveau de la gamme de mesure. Par conséquent, la mesure permet seulement de savoir si l'injection des accumulateurs a commencé ou non. Les procédures de conduite peuvent demander d'isoler les accumulateurs lorsque la pression primaire devient inférieure à 15 bars pour éviter l'injection d'azote (gaz incondensable) dans le circuit primaire. Si cette action est faite sans tarder, les études montrent qu'il reste environ une dizaine de tonnes d'eau dans chaque accumulateur. Cette réserve d'eau peut être utilisée pour retarder le dénoyage du cœur en les injectant un par un au moment du début du dénoyage du cœur. Dans le cas des brèches de taille importante (supérieures à 4 pouces), les accumulateurs seront probablement vides avant que les opérateurs n'aient eu le temps de les isoler.

Les synoptiques du KIT/CNC N4 permettent de visualiser les pompes en service et les lignages du moment. Par contre seul l'exploitant peut fournir la liste exhaustive des indisponibilités de matériel. La liste des matériels indisponibles doit être tenue à jour avec le plus grand soin par les équipes de crise.

L'évaluation des débits injectés via des lignages d'appoint ultime (ou lignages exotiques) est très difficile à faire en l'absence de mesure de débit sur la ligne. Certains lignages proposés peuvent être peu, voire pas du tout, efficaces (puissance de pompage trop faible par rapport aux pertes de charge réelles de la ligne). A chaque fois qu'un lignage d'appoint ultime est mis en œuvre, la question est de savoir quelle quantité d'eau est effectivement injectée dans le circuit primaire. De façon générale, on cherchera à privilégier une injection multipoints pour éviter de perdre tout ou partie de l'eau à la brèche.

Les procédures H4-U3 (H4 en cas de perte d'une des fonctions RIS ou EAS, U3 en cas de perte des deux fonctions RIS et EAS) permettent notamment la mise en place d'une motopompe (avec robinetterie et raccords) pour secourir l'ISBP ou l'EAS. La mise en œuvre de ces moyens mobiles demande environ 36 heures en 3/8. La disponibilité à terme des systèmes devra être évaluée en fonction des modifications prévisibles d'utilisation des systèmes, en particulier suite à des signaux de protection du réacteur ou au titre des procédures de conduite.

Les temps de vidange des stocks d'eau (bâche PTR en particulier) peuvent être évalués à partir des débits d'injection en cours ou prévus pour prévenir le moment du passage en recirculation du système RIS, si la bâche PTR n'est pas réalimentée. En ce qui concerne les moyens d'injection, il conviendra d'évaluer la disponibilité à terme des sources électriques et pneumatiques, notamment pour statuer sur la disponibilité des actionneurs. En cas d'impossibilité d'évacuer l'énergie du BR, et en particulier de contrôler la température de l'eau contenue dans les puisards, il conviendra d'évaluer le délai avant la perte des moyens d'injection par température élevée de l'eau véhiculée. De même, en cas de perte de certains systèmes de ventilation, le délai avant la perte des pompes situées dans les locaux qui ne sont plus ventilés devra être évalué.

L'état à terme de la fonction de sûreté « inventaire en eau du RCP » sera également qualifié de :

- **satisfaisant,**
- **dégradé,**
- **dénoyage,**
- **doute.**

Cet état sera basé sur une estimation de l'évolution de la masse d'eau dans le circuit primaire. On considérera que l'inventaire en eau est satisfaisant s'il est suffisant pour permettre la connexion du RRA (marge à la saturation et niveau cuve suffisants).

3.7.3. ETAT DES FONCTIONS DE SÛRETÉ DE LA DEUXIÈME BARRIÈRE ET SYSTÈMES ASSOCIÉS

L'intégrité de la deuxième barrière est associée à deux fonctions de sûreté :

- la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du RCP »,
- la fonction de sûreté « évacuation de la puissance des joints des GMPP ».

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	30 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

3.7.4. LA FONCTION DE SÛRETÉ « ÉVACUATION DE LA PUISSANCE DU RCP »

L'état de la fonction de sûreté est déterminé en examinant l'évolution de la pression et des températures du circuit primaire.

Les cinq états de la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du RCP » sont les suivants :

- **suffisante,**
- **non suffisante,**
- **contrôlée,**
- **non contrôlée,**
- **douteuse.**

Deux facteurs sont associés à l'état de la fonction de sûreté :

- le premier indique si les moyens d'évacuation de la puissance sont suffisants pour extraire a minima la puissance résiduelle du cœur (baisse ou stabilisation de la température et de la pression du circuit primaire) ;
- le second précise si ces moyens permettent de contrôler l'évolution de la pression et de la température du circuit primaire.

Par exemple, dans le cas d'une petite brèche sur le circuit primaire, l'utilisation du GCT atmosphère ou condenseur permet, dans un premier temps, de contrôler le refroidissement et la dépressurisation du circuit primaire. La fonction de sûreté est alors qualifiée de « suffisante et contrôlée ». Puis, lorsque l'on atteint un état dépressurisé, les critères de connexion du RRA n'étant pas encore atteints et les GCT atmosphère étant ouverts au maximum, le refroidissement se poursuit à son rythme, les opérateurs en salle de commande n'ayant plus de moyen disponible pour imposer la vitesse de refroidissement.

La fonction de sûreté est donc « suffisante mais non contrôlée ». Enfin, une fois le RRA mis en service, les opérateurs peuvent à nouveau imposer une vitesse de refroidissement. La fonction de sûreté « évacuation de la puissance du RCP » redevient « suffisante et contrôlée ». On peut également citer les situations de grosse brèche primaire où la fonction sera « suffisante mais non contrôlée », le refroidissement étant principalement assuré par la brèche.

D'une façon générale, tant que les GV contiennent de l'eau, l'évacuation de la puissance du RCP est suffisante. Les systèmes associés à cette fonction de sûreté sont les suivants :

- les générateurs de vapeur, en précisant :
 - le nombre de GV disponibles ou réutilisables disponibles (ou utilisables : nouveau vocabulaire APE) en fonction des niveaux d'eau et des activités,
 - la disponibilité des systèmes GCT (VCD pour les tranches CP0),
 - la disponibilité des systèmes d'alimentation en eau des GV en associant aux lignages et moyens de pompage (ARE/ANG, ASG, CEX),
- les réserves en eau utilisables (bâche ASG et ses moyens de réalimentation),
- les systèmes RIS - LDP pour les configurations de gavé-ouvert, en précisant le mode de fonctionnement de l'IS (injection directe ou recirculation),
- les systèmes RRA, RRI, SEC pour les états réacteur à l'arrêt, RRA connecté.

On peut aussi ajouter aux systèmes permettant l'évacuation de l'énergie du RCP, les brèches sur le circuit primaire en y associant les systèmes RIS, RCV, REA, et d'une façon générale, tout système permettant d'injecter suffisamment d'eau dans le RCP (appoints ultimes). Cette configuration de fonctionnement peut être assimilée à un fonctionnement en gavé-ouvert. La brèche peut être suffisante pour évacuer l'énergie du circuit primaire. Néanmoins, en l'absence d'injection d'eau dans le RCP, c'est la fonction de sûreté « Inventaire en eau du RCP » qui, à terme, ne sera plus assurée.

On s'attachera à évaluer l'efficacité globale des moyens d'évacuation de la puissance du RCP.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	31 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

Lors du pronostic, l'évaluation de la disponibilité à terme des systèmes utilisés pour évacuer la puissance du RCP sera effectuée en tenant compte des signaux de protection du réacteur et des actions prévues au titre des procédures de conduite. Il conviendra d'évaluer les délais avant la vidange des réservoirs d'eau utilisés (générateurs de vapeur, bêche ASG ou PTR, ...) en fonction de la situation accidentelle en cours et d'étudier la disponibilité à terme des moyens palliatifs (IS - LDP pour le passage en gavé ouvert par exemple). Le délai avant l'atteinte des conditions de connexion du RRA doit être évalué.

La fonction de sûreté « évacuation de la puissance du RCP » sera qualifiée en pronostic de :

- **suffisante,**
- **non suffisante,**
- **contrôlée,**
- **non contrôlée,**
- **douteuse.**

3.7.5. LA FONCTION DE SÛRETÉ « ÉVACUATION DE LA PUISSANCE DES JOINTS DES GMPP »

Il convient aussi d'évaluer la fonction de sûreté « évacuation de la puissance des joints des GMPP » afin de vérifier l'état des joints des pompes primaires. Les quatre états associés à cette fonction de sûreté sont les suivants :

- **suffisante,**
- **non suffisante,**
- **non nécessaire,**
- **douteuse.**

Lorsque la pression du circuit primaire devient inférieure à 40 bars, il n'est plus nécessaire d'assurer le refroidissement des joints des GMPP pour éviter l'apparition de brèche(s).

L'état de la fonction « évacuation de la puissance des joints des GMPP » devient donc « non nécessaire ». Les systèmes associés sont :

- les circuits RRI/SEC,
- le circuit RCV (pompes de charge) pour l'injection aux joints des GMPP. La pompe de test est également utilisable pour injecter aux joints.

En l'absence de ces deux moyens, il est possible qu'une ou plusieurs brèches apparaissent sur le circuit primaire si la pression du circuit primaire est supérieure à 40 bars.

Lors du pronostic, l'évaluation de la disponibilité à terme des systèmes utilisés pour évacuer la puissance des joints des GMPP sera effectuée en tenant compte des signaux de protection du réacteur et des actions prévues au titre des procédures de conduite.

La fonction de sûreté « évacuation de la puissance des joints des GMPP » sera également qualifiée de :

- **suffisante,**
- **non suffisante,**
- **non nécessaire,**
- **douteuse.**

3.8. ETAT DES FONCTIONS DE SÛRETÉ DE LA TROISIÈME BARRIÈRE ET SYSTÈMES ASSOCIÉS

L'intégrité de la troisième barrière est associée à deux fonctions de sûreté :

- la fonction de sûreté « **confinement** »,
- la fonction de sûreté « **évacuation de la puissance du BR** ».

3.8.1. LA FONCTION DE SÛRETÉ « CONFINEMENT »

Les trois états de cette fonction sont les suivants :

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	32 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

- confinement sûr,
- confinement non assuré,
- confinement douteux.

Comme précisé au paragraphe 3.3.3, cette fonction de sûreté est constituée des éléments fonctionnels suivants :

- « efficacité des systèmes d'isolement de l'enceinte » qui assure l'isolement " mécanique " du BR,
- « contrôle de la composition de l'atmosphère de l'enceinte » qui assure le maintien de conditions non propices à la combustion ou à l'explosion de l'hydrogène émis dans le BR lors de la dégradation du cœur,
- « efficacité du système EDE » qui assure le confinement dynamique des enceintes doubles.

3.8.1.1. État de l'« efficacité des systèmes d'isolement de l'enceinte » et systèmes associés

L'« efficacité des systèmes d'isolement de l'enceinte » est déterminée en examinant :

- la position des vannes des traversées enceinte (confirmée en local lors de l'application de la fiche « surveillance précoce du confinement » demandée par SPE dans la séquence « Actions importantes vis-à-vis de l'intégrité enceinte » via le module « Confinement »),
- la disponibilité des sources d'énergie pour manœuvrer les vannes d'isolement,
- la fermeture ou non des sas du BR et du tampon matériel,
- la capacité disponible des bâches d'effluents,
- dans le cas d'une RTGV, la pression du GV affecté et les paramètres « enceinte » afin de détecter une éventuelle rupture de tuyauterie secondaire (RTV intérieure enceinte) ou une ouverture de soupape(s),
- les éventuelles fuites hors enceinte sur les circuits connectés au RCP.

Cet examen permettra de conclure à :

- un isolement correct de l'enceinte,
- un défaut d'isolement de l'enceinte,
- un doute.

Les dispositifs et circuits permettant de contrôler l'« efficacité des systèmes d'isolement de l'enceinte » sont les suivants :

- le compte rendu des isolements enceinte phase 1 et phase 2 (disponible sur le KIT/TCI/CNC N4) ; il s'agit de vérifier qu'aucun organe d'isolement n'est en discordance. Si tel est le cas, une analyse approfondie sera nécessaire afin de vérifier qu'il existe au moins un organe d'isolement fermé sur la ligne pour que le circuit concerné ne puisse pas véhiculer de fluide contaminé,
- la mise en œuvre des actions demandées par SPE dans la séquence « Surveillance du confinement, GIAG, réorientation » issues du module « Critères U2 » (fermeture en local des vannes d'isolement restées ouvertes si cela est possible, réinjection des effluents dans le BR) ou d'autres actions recommandées par les équipes de crise dans le cadre du GAEC confinement par exemple,
- dans le cas d'une RTGV, l'absence d'une rupture de tuyauterie secondaire et l'isolement effectif du GV radioactif ainsi que le maintien en position fermée des vannes GCT/VCD et des soupapes VVP,
- le bon déroulement du passage en recirculation de l'IS et l'EAS (position des vannes conforme y compris sur les lignes de débit nul),
- les moyens pour récupérer les éventuelles fuites (bâches d'effluents, puisards).

3.8.1.2. État du « contrôle de la composition de l'atmosphère de l'enceinte » et systèmes associés

Il s'agit d'évaluer si la composition de l'atmosphère de l'enceinte peut conduire à l'inflammation ou à l'explosion de l'hydrogène présente dans le BR, qui pourrait conduire à une dégradation majeure de l'enceinte de confinement. A partir d'une hypothèse sur la quantité d'hydrogène émise dans l'enceinte de confinement et des mesures de pression et de température dans le BR, on positionne le point correspondant à la composition de l'atmosphère du BR sur le diagramme de Shapiro. Les trois états retenus de cette fonction de sûreté sont les suivants :

- pas de risque de combustion hydrogène,

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	33 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

- **risque de combustion hydrogène,**
- **doute.**

Peu de systèmes permettent de contrôler la composition de l'atmosphère du BR. L'installation sur toutes les tranches du parc de Recombineurs Autocatalytiques Passifs (RAP) permet de limiter le risque d'explosion. A noter que dans le cadre des évolutions matérielles (par exemple VD3 CPY), la mise en place de capteurs de température sur 2 RAP (un capteur par RAP) permet d'avoir l'information de l'activité de recombinaison en présence d'hydrogène (montée des températures au-delà de 400°C).

Il convient de rappeler que la mise en service du système EAS modifie la composition de l'atmosphère du BR et accroît le risque de combustion. Ce risque hors accident grave reste faible.

3.8.1.3. État de l'« efficacité du système EDE »

L'« efficacité du système EDE » est déterminée en examinant :

- le mode de fonctionnement du système : fonctionnement en marche normal ou fonctionnement en situation accidentelle (files iode),
- la disponibilité de l'ensemble des 3 files du système,
- la valeur de la dépression dans l'EEE.

Cet examen permettra de conclure sur :

- **un confinement dynamique correct,**
- **un défaut du confinement dynamique,**
- **un doute.**

Les systèmes associés à l'efficacité du système EDE sont :

- les réchauffeurs électriques assurant une hygrométrie réduite en amont des pièges à iode,
- les filtres absolus THE,
- les pièges à iodes,
- les ventilateurs.

Les ventilateurs et les réchauffeurs électriques sont des systèmes actifs qui ont besoin de sources électriques pour fonctionner (les 2 files iodes du système EDE sont secourues).

3.8.1.4. Circuit U5 en service

Le circuit U5 peut être mis en service dans le cadre d'accidents de dimensionnement selon certains critères précisés au §3.8.2 ci-dessous.

3.8.2. LA FONCTION DE SÛRETÉ « ÉVACUATION DE LA PUISSANCE DU BR » ET SYSTÈMES ASSOCIÉS

L'état de la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du BR » est déterminé en examinant l'évolution :

- de la pression enceinte,
- de la température enceinte.

Il faut notamment vérifier que la pression reste inférieure à la pression de dimensionnement de l'enceinte et déterminer si l'évolution de la pression et de la température est contrôlable. Les trois états associés à cette fonction de sûreté sont les suivants :

- **suffisante,**
- **non suffisante,**
- **douteuse.**

Les systèmes permettant de contrôler cette fonction de sûreté sont :

- l'EAS, associé aux circuits de refroidissement RRI/SEC (ou SEB pour le palier CPO),
- le circuit U5 de dépressurisation de l'enceinte.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	34 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

Dans une moindre mesure, on peut prendre en compte les GV qui, en l'absence des systèmes EAS/RR/SEC, évacuent une quantité d'énergie du RCP, et donc de l'enceinte, non négligeable.

La mise en service du circuit U5 est une action volontaire qui bypass la troisième barrière pour évacuer l'énergie contenue dans le BR et éviter la ruine de l'enceinte. Cette procédure peut être appliquée lorsque la pression de l'enceinte est supérieure à 5 bars absolus. Il est à noter que pour chaque palier les pressions limites au dessus desquelles la tenue de l'enceinte n'est plus garantie sont connues et sont précisées dans les notes d'études GIAG de la DIN.

Il est à noter que le filtre U5 peut être utilisé dans les 3 autres situations suivantes correspondantes à des **accidents sans fusion du combustible** via des fiches du GAEC volet « Stratégie » (Guide d'Actions des Équipes de Crise) :

- Décompression enceinte en situation de perte totale de la source froide avec le circuit primaire suffisamment ouvert et la piscine BR non remplie (H1.2),
- Conduite de l'enceinte lorsque l'EAS est indisponible en situation de brèche primaire (grosse ou intermédiaire) avec les GV inefficaces ou en situation de PTEA (Perte Totale de l'Eau Alimentaire des GV ; H2),
- Décompression enceinte en situation de PTAE (Perte Totale des Alimentations Électriques) avec le circuit primaire suffisamment ouvert (H3.2), Cette démarche est issue d'une position action EDF Post Fukushima issue du Groupe Permanent d'Experts pour les Réacteurs et Usines des 8, 9, et 10 novembre 2011. L'objectif ici est de maintenir la température dans les puisards BR à moins de 120°C.

En situation ultime, l'utilisation des surfaces extérieures des collecteurs RRI comme « batterie froide » pour extraire la puissance résiduelle du combustible hors de l'enceinte et ainsi différer l'ouverture du circuit U5, n'est pas envisagée car la tenue et l'opérabilité du circuit RRI ne sont pas assurées (les impératifs de mise en service du RRI sont incompatibles avec les conditions qui seraient atteintes dans l'enceinte après 24 heures sans le fonctionnement d'un système de sauvegarde).

Dans la phase de pronostic, on s'intéressera aux réserves d'eau disponibles pour permettre l'évacuation de la puissance du BR (bâches PTR et ASG, puisards) et à la disponibilité à terme des moyens d'injection. Il conviendra d'évaluer l'évolution de la pression enceinte pour pouvoir statuer sur l'état de la troisième barrière à terme (en particulier vis-à-vis de l'utilisation du système de décompression-filtration de l'enceinte).

3.9. REMPLISSAGE DE LA FICHE 3D/3P - CONSIDÉRATIONS PRATIQUES ET EXEMPLES

Le remplissage de la grille 3D/3P doit être réalisé régulièrement tout au long de la crise, a minima avant chaque point de concertation à l'audioconférence. A chaque fois, il est important de commencer par évaluer l'état des barrières même si aucun fait nouveau n'est intervenu depuis la précédente évaluation. En effet, la méthode 3D/3P est aussi une méthode de vérification systématique du diagnostic de l'installation pour détecter un éventuel changement.

Une fois l'état des barrières déterminé, les experts s'intéressent aux fonctions de sûreté associées ainsi qu'aux systèmes permettant de les contrôler. A ce stade, le diagnostic de l'état de l'installation est achevé. Il est important de mener à bien ce diagnostic en considérant l'évolution des paramètres mesurables sur l'installation pour pouvoir aboutir à l'identification de son état.

Lorsque le diagnostic de l'état de l'installation est terminé, et seulement après, les experts s'interrogent ensuite sur la disponibilité à terme des systèmes pour en déduire l'état à terme des fonctions de sûreté et en déduire l'état à terme des barrières.

Le remplissage de la fiche 3D/3P doit être un moment de concertation entre tous les experts de la cellule de crise ; chacun participant au remplissage de la partie le concernant. Cette façon de procéder permet de mettre au même niveau d'information l'ensemble des équipiers de crise, de prendre l'avis de la personne la plus compétente sur le point abordé, de prendre connaissance des éventuelles réactualisations des précédentes estimations et de décider ensemble des nouvelles quantifications à effectuer.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	35 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

Des exemples de remplissage de la fiche 3D/3P pour différentes situations sont présentés ci-après. Les grilles 3D/3P figurent en annexe 5.

Cas « petite brèche RCP » :

Dans le cas d'une petite brèche RCP, tous les systèmes étant disponibles, le cœur n'est pas endommagé, l'IS démarre entraînant l'isolement enceinte phase 1 et le retour rapide d'un niveau pressuriseur visible. L'EAS n'est pas sollicité. La connexion du RRA est possible dès l'atteinte des critères figurant dans les procédures de conduite.

Cas « grosse brèche RCP » :

Dans le cas d'une grosse brèche RCP, tous les systèmes étant disponibles, des ruptures de gaines peuvent être observées consécutivement au dénoyage du cœur (détectées à partir de la mesure de débit de dose dans l'enceinte), le circuit primaire restera à saturation pendant tout le transitoire, le système EAS sera sollicité. Rapidement, l'aspiration de l'IS et de l'EAS basculera sur les puisards du BR. La connexion au RRA n'est pas possible tant que le circuit primaire est saturé.

Cas « RTGV » :

Dans le cas d'une RTGV simple, tous les systèmes étant disponibles, l'IS est sollicité pour boriquer le circuit primaire et retrouver des conditions thermohydrauliques normales dans la chaudière. Le GV accidenté est isolé. Par la suite, les opérateurs arrêtent l'IS et passent en configuration « charge RCV » pour annuler la fuite primaire-secondaire en équilibrant les pressions des deux circuits. A terme, la connexion du RRA est possible.

Cas « H1 » :

En cas de perte totale de la source froide, il existe un risque de détérioration voire de rupture des joints des pompes primaires si l'injection d'eau par le RCV est interrompue.

Cas « H2 » :

En cas de perte totale de l'alimentation en eau des générateurs de vapeur, le seul moyen d'évacuer la puissance résiduelle après la vidange des GV est de passer en configuration gavé-ouvert en ouvrant les LDP et en mettant l'IS en service, si les conditions de connexion du RRA ne sont pas atteintes. L'ouverture des LDP peut entraîner la mise en service de l'EAS.

Cas « H3 » :

En cas de perte totale des alimentations électriques, les derniers matériels disponibles sont le LLS, la pompe de test RIS011PO palier 900 (RCV191PO pour le 1300 et le N4) et la TPS ASG (2 TPS pour le 1300 et le N4). Le LLS et la TPS ASG utilisent la vapeur produite par les GV pour fonctionner et la RIS011PO (RCV191PO) utilise la puissance électrique produite par le LLS. Une pression minimale dans les GV est requise pour permettre le fonctionnement du LLS et de la TPS ASG. Pour cette raison, la température du circuit primaire doit rester supérieure à 190°C.

Cas « brèche sans ISBP » :

Cas d'une brèche sur le circuit RCP d'un REP 900 MWe avec les conditions initiales suivantes :

- brèche primaire de l'ordre de 6 pouces,
- ISBP voie A et voie B totalement indisponibles,
- ISHP voie A et voie B en injection directe (l'eau injectée provient de la bêche PTR),
- EAS voie A en service,
- GV alimenté normalement par l'ASG.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 36 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

Cette situation conduit à terme à la dégradation du cœur. En effet, sur le palier CPY, les pompes ISHP ne peuvent injecter de l'eau contenue dans les puisards du BR que si elles sont gavées par les pompes ISBP. Celles-ci étant indisponibles, le passage en recirculation de l'injection de sécurité entraînera la perte des pompes d'injection haute pression. En l'absence de tout appoint d'eau dans le circuit primaire, le dénoyage du cœur est inévitable. Les procédures de conduite demandent alors d'ouvrir les LDP lorsque le dénoyage du cœur commence. L'heure du passage en recirculation puis le délai avant le début de découverture du cœur devront être évalués, ainsi que la cinétique de dégradation du cœur et les rejets attendus dans les prochaines heures.

Cas « brèche sans EAS » :

Cas d'une grosse brèche primaire sur un REP avec les conditions initiales suivantes :

- perte de l'EAS au passage en recirculation,
- IS en aspiration sur les puisards du bâtiment réacteur,
- GV alimenté normalement par l'ASG.

En raison de l'indisponibilité de l'EAS, l'extraction de l'énergie du BR ne se fait plus que par les pertes thermiques de l'enceinte et les GV. La température de l'eau des puisards va augmenter, entraînant à long terme la perte des pompes d'injection de sécurité. A terme, le cœur va fondre, percer la cuve et interagir avec le béton du radier. L'EAS étant indisponible, la mise en service du système U5 peut être nécessaire.

3.10. DÉMARCHE DU PRONOSTIC AGGRAVÉ

3.10.1. PRINCIPE DE LA DÉMARCHE DU PRONOSTIC AGGRAVÉ

La méthode 3D/3P vise à identifier le plus tôt possible les situations accidentelles menant soit à la fusion du cœur, soit, plus généralement, à des rejets importants d'activité dans l'environnement qui nécessiteraient la mise en œuvre d'actions de protection des populations situées à proximité de l'installation.

Le retour d'expérience des exercices de crise a montré que, dans certains cas, cette anticipation n'était pas suffisante pour mettre en œuvre ces actions de protection avant le début des rejets significatifs.

En effet, si l'on considère par exemple le cas d'un accident de type APRP caractérisé par une brèche de taille importante, le système d'injection de sécurité étant indisponible à l'exception d'une unique pompe qui maintient l'inventaire en eau du circuit primaire, l'application de la méthode 3D/3P conduit à proposer un terme-source ne prenant pas en compte de dégradation du cœur, terme-source qui ne nécessite pas la mise en œuvre d'action de protection des populations. En cas de défaillance soudaine de la dernière pompe d'injection de sécurité, le dénoyage du cœur et les rejets dans l'environnement interviendraient dans un délai de 2 heures, temps trop court pour protéger efficacement les populations.

La méthode 3D/3P, basée sur l'élaboration du diagnostic et du pronostic de la situation, a donc été complétée par une étape supplémentaire : le pronostic aggravé.

Le pronostic est basé sur l'état de l'installation à l'instant considéré et suppose qu'aucun nouvel événement ne va survenir si ce n'est dans les cas où cet état conduit inexorablement à la perte de certains matériels. Par exemple, suite à la perte de son circuit de refroidissement, une pompe va s'arrêter à terme pour cause d'échauffement trop important. Le délai avant l'arrêt de cette pompe est estimé afin de pronostiquer l'évolution de l'accident. Il n'est donc pas tenu compte dans cette estimation de la possibilité de défaillance de nouveaux matériels indépendante de l'accident. Certaines situations ne menant pas au dénoyage du cœur, du moins à court ou moyen terme, au moment de l'estimation peuvent néanmoins, en cas de perte d'un matériel ou d'un système supplémentaire, conduire au dénoyage puis à une dégradation du cœur et entraîner des rejets conséquents dans l'environnement, et cela dans des délais très courts.

Le pronostic aggravé a donc été introduit, en premier lieu, pour approfondir l'analyse de la situation afin d'identifier les éventuelles défaillances qui conduiraient à mettre en œuvre très rapidement des actions de protection des populations.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	37 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

Il consiste à postuler l'occurrence d'une défaillance supplémentaire, indépendante de tout événement connu et à estimer, dans les cas où cette défaillance supplémentaire conduirait inéluctablement à la fusion du cœur, **les délais disponibles** avant tout rejet de produits radioactifs nécessitant la mise en œuvre d'actions de protection. S'il apparaît que la perte d'un **unique** matériel conduit à des conséquences radiologiques nécessitant d'engager des actions de protection des populations dans des délais incompatibles avec leur mise en place, il peut alors être décidé de mettre en œuvre ces actions de **façon préventive**. Naturellement, la prise ou non de cette décision dépendra du contexte. Par exemple, en fonction des délais nécessaires à la mise en œuvre des actions de protection et des délais annoncés de restauration des matériels permettant de retrouver une situation plus sûre, la prise de décision pourra être retardée.

La notion de pronostic aggravé élaborée à son origine pour anticiper essentiellement les situations de fusion du cœur, a été par la suite élargie à la fonction de sûreté « confinement ». En effet, pour des situations identifiées comme menant inéluctablement à la fusion du cœur, l'ultime barrière entre les produits de fission et l'environnement est constituée de l'enceinte de confinement et de ses extensions. De la même façon que l'on cherchait à tester la robustesse de l'installation vis-à-vis du dénoyage du cœur, on cherche maintenant à tester la robustesse du confinement qui, dès lors que la fusion du cœur est envisagée, va jouer un rôle prépondérant. Le seul système « actif » participant au confinement étant l'EAS, il a été décidé de limiter la définition des aggravants concernant le confinement à ce système. La prise en compte d'un aggravant sur le système EAS se traduit par une augmentation du rayon de la zone où les actions de protection des populations seront nécessaires.

En résumé, la démarche du pronostic aggravé est une méthode d'investigation ayant pour objectif d'identifier tout matériel de l'installation dont la perte conduirait :

- soit à la fusion du cœur dans des délais trop courts pour mettre en place les actions de protection des populations nécessaires,
- soit, en cas de pronostic de fusion du cœur confirmé, à une augmentation des distances sur lesquelles ces actions devraient être mises en œuvre.

L'identification précoce de ces matériels " sensibles " permet d'anticiper l'évaluation des conséquences de leurs défaillances et des délais disponibles.

3.10.2. JUSTIFICATION DES SITUATIONS À CONSIDÉRER DANS LE CADRE DU PRONOSTIC AGGRAVÉ

Les évaluations de conséquences radiologiques associées aux différents types d'accident considérés sur les REP tendent à montrer que la mise en œuvre préventive d'actions de protection ne se justifie qu'en cas de risque de dégradation du cœur.

En effet, pour les séquences de type RTGV ne conduisant pas à la dégradation du cœur, la mise en œuvre d'actions de protection n'est à envisager que pour des cas où l'activité initiale du circuit primaire est relativement importante (circuit primaire "contaminé" : activité primaire initiale supérieure à 4 GBq/t en Équivalent I131, rejets en eau importants). En tout état de cause, la prise en compte de l'aggravant le plus pénalisant en cas de RTGV, à savoir le blocage d'une soupape en position ouverte en cas de rejet liquide, conduirait au même ordre de grandeur de conséquences radiologiques que pour le scénario sans aggravant et donc à la mise en place d'actions de protection d'ampleur similaire.

3.10.3. LA DÉMARCHE DU PRONOSTIC AGGRAVÉ

C'est à partir du pronostic d'évolution de la situation que la nécessité de considérer un pronostic aggravé doit être examinée.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 38 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

Ainsi, si, dans le cadre du pronostic, le délai avant début de découverture du cœur est court ($\Delta t < TD1$, TD1 étant de l'ordre de quelques heures), il est nécessaire d'engager des actions de protection des populations et ceci quel que soit l'état du confinement et la disponibilité du système d'aspersion dans l'enceinte. Dans cette situation, bien qu'il soit exclu de considérer un aggravant sur le confinement, la défaillance de l'aspersion enceinte pourra être supposée afin de prendre une marge supplémentaire lors de la détermination des distances sur lesquelles les actions de protection devront être mises en œuvre.

Dans le cas où le délai avant découverture est plus long ou si la situation ne conduit pas au découverture du cœur, il peut être envisagé de prendre en compte une défaillance supplémentaire pouvant entraîner la réduction de ce délai. Le choix de l'aggravant se portera alors sur le système de l'installation dont la perte conduirait à la situation la plus dégradée.

Lorsque la perte de ce système entraîne un risque de découverture du cœur, il conviendra, pour l'évaluation du délai disponible, de ne considérer, dans un premier temps, que les moyens prévus dans les procédures de conduite accidentelles ainsi que ceux disponibles au moment de la réalisation du pronostic.

En résumé, le tableau 6 suivant récapitule la démarche proposée :

Délai de découverture (pronostic)	inférieur à 6h00	Aggravant sur l'EAS
Délai de découverture (pronostic)	supérieur à 6h00 ou pas de découverture du cœur attendu	Aggravant sur le système de l'installation conduisant à la situation la plus dégradée

Tableau 6

3.10.4. TYPES DE DÉFAILLANCE À CONSIDÉRER

Comme souligné plus haut, le choix de la défaillance à considérer ne pourra se faire qu'à partir du pronostic réalisé sans aggravant. Ainsi, il peut s'agir d'une pompe (dernière pompe en service) mais également du refus d'ouverture d'une soupape du pressuriseur.

Le choix de l'aggravant se fait en concertation EDF/IRSN. Néanmoins, en cas de désaccord, c'est le choix de l'IRSN qui prévaut.

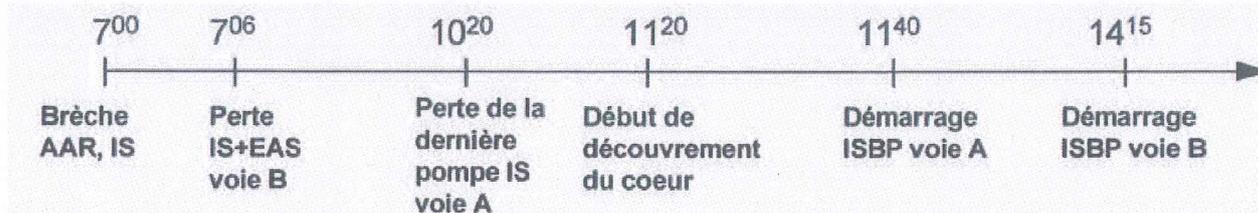
A titre de support de réflexion, un tableau récapitulatif présentant les taux de défaillance en fonctionnement d'un certain nombre de matériels utilisés en cas d'accident sur les tranches de 900 et de 1300 MWe est joint en annexe 6.

3.10.5. EXEMPLE PRATIQUE

Il est proposé de reprendre le scénario de l'exercice de crise de Nogent en 1996 afin d'illustrer la démarche proposée sur un exemple concret. Il ne faut cependant pas tirer de conclusions définitives car les conditions d'exercice ne représentent qu'imparfaitement une situation de crise réelle. En effet, la durée de l'exercice (8h00) et les contraintes qui étaient imposées aux scénaristes les ont conduit à élaborer un scénario avec des défaillances indépendantes multiples se succédant rapidement dans le temps.

Cet exercice consistait en une brèche sur le circuit primaire de taille importante (6 pouces). La tranche se trouvait initialement à pleine puissance et une pompe IS voie A était en cours de réparation. Les principaux événements du scénario figurent ci-après :

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 39 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0



Jusqu'à 7h06, la situation est stable, un pronostic sans aggravant conduit à estimer que la dégradation du cœur ne peut se produire et il n'y a pas lieu de considérer de pronostic aggravé puisque les deux voies d'IS fonctionnent.

A 7h06, l'estimation de l'évolution de la situation sans prendre en compte d'aggravant est la même que celle effectuée précédemment. A contrario, un pronostic aggravé (perte de la pompe IS voie A) réalisé dans ces conditions donne comme résultat, un découverture du cœur dans une heure environ. Sachant que le temps nécessaire à la mise en œuvre de toute action de protection de la population sur un rayon de 2 à 3 km est supérieur à ce délai, il apparaît nécessaire de préconiser, dans ce cas, la mise en œuvre immédiate de ces actions sur les premiers kilomètres.

A 10h20, soit 3 heures plus tard, la perte de la voie A du RIS va entraîner le découverture du cœur sous 1h00 (pronostic sans aggravant). Ainsi, les premiers rejets importants sont survenus environ 4 heures après une décision de mise en œuvre des actions de protection sur un pronostic aggravé, délai « raisonnable » pour évacuer la population sur les premiers kilomètres autour du site. Selon la démarche proposée, il aurait pu être envisagé, à partir de 10h30, de considérer, au titre du pronostic aggravé, la perte de la dernière pompe EAS. A 11h40, une pompe IS fonctionne de nouveau sur la voie A ; cependant la première barrière a été endommagée. Un pronostic aggravé conduirait à conseiller de poursuivre l'évacuation de la population dans un rayon de 3 km. A 14h15, la deuxième voie de l'IS est récupérée, il n'y a plus lieu de craindre d'endommagement supplémentaire du cœur.

Les actions sont alors ajustées en fonction des mesures effectuées dans l'environnement et confrontées aux évaluations réalisées par les équipes techniques de crise.

3.10.6. CONCLUSION

Le type de défaillance à prendre en compte dans le cadre d'un pronostic aggravé est fonction du délai disponible avant le début de dénoyage du cœur (Δt). Pour un délai court (de l'ordre de 6 heures), il est conseillé de considérer une défaillance supplémentaire liée au système d'aspersion enceinte (n'affectant pas le délai avant rejets mais l'ampleur de ces derniers). Pour un délai plus important, c'est en priorité sur un moyen de refroidissement du cœur que se portera le choix de l'aggravant.

Il n'est pas fait état ici des possibles utilisations des résultats de ce pronostic aggravé, notamment lorsque le délai avant fusion du cœur évalué dans le cadre du pronostic sans aggravant est relativement important (supérieur à 6h00). En tout état de cause, la décision de mise en œuvre ou non d'actions de protection dépend d'un ensemble d'éléments, pas seulement techniques, et devra s'effectuer non seulement en prenant en compte la cinétique de l'accident mais également la cinétique de prise de dose par les populations.

Un message permet de formaliser les évaluations réalisées dans le cadre d'un pronostic aggravé. Le modèle est joint en annexe 2.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	40 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

4. MÉTHODE D/P AG

4.1. PRINCIPES STRUCTURANTS

Il a été décidé en concertation avec l'IRSN que la méthode D/P AG [4] serait une adaptation de la méthode 3D/3P en conservant le plus possible le formalisme connu et éprouvé par les équipes de crise. Des options différentes ont été envisagées mais n'ont finalement pas été retenues, dans le souci d'assurer la continuité entre les 2 méthodes et de faciliter son appropriation par les équipes de crise.

Il a, de plus, été constaté que la mise en place des Guides d'Intervention en Accident Grave (GIAG) [8, 9, 10, 11, 12] opérationnels sur les CNPE structurait déjà fortement la conduite de l'installation. Dès lors, la méthode ne devait pas être un support à l'application du GIAG, mais une réelle méthode d'expertise, transverse, pour élaborer un diagnostic puis un pronostic de l'état de l'installation.

Par ailleurs, l'instrumentation en accident grave étant extrêmement réduite, le diagnostic exhaustif de l'état de l'installation ne pourra pas se faire que sur la base des paramètres mesurés, comme pour la méthode 3D/3P. Une partie de la grille associée sera renseignée soit à partir d'évaluations soit uniquement sur la base du jugement d'experts (comme tout ce qui concerne le refroidissement du corium par exemple).

Enfin, contrairement à la méthode 3D/3P qui est complètement déterministe (à un diagnostic de l'état de l'installation correspond un unique pronostic), la méthode D/P AG doit prendre en compte la notion de risque : même si, pour une situation donnée, les conditions sont réunies pour qu'un phénomène physique redouté se produise, il n'est pas possible de prédire s'il aura effectivement lieu (par exemple, lorsque l'atmosphère de l'enclaustré est inflammable suite au dégagement d'hydrogène lors de la dégradation du cœur, la méthode indiquera qu'il existe un risque de combustion de l'hydrogène ; en revanche, il n'est pas possible de dire si cette combustion se produira ou pas).

4.2. DOMAINE D'APPLICATION

La méthode D/P AG remplace la méthode 3D/3P dès lors que la fusion du cœur du réacteur a débuté. De façon opérationnelle, on peut retenir les critères d'entrée dans le GIAG [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] comme critères de basculement de la méthode 3D/3P à la méthode D/P AG.

La méthode D/P AG s'applique quel que soit l'état initial du réacteur (fermé, entrouvert ou ouvert).

Il est à noter que sur les CNPE, les documents opératoires GIAG sont basés sur une note d'étude (indice V3B) dont le domaine d'application est uniquement l'état initial fermé. Par contre, en complément au niveau national pour le palier CPY hors Cruas, un document opératoire à l'usage de l'ETC-N basé sur une note d'étude SEPTEN indice V4 [5] est en place pour uniquement les états de tranche RCP entrouvert et suffisamment ouvert. Les indices V4B [6] et V5 [7] n'ont pas été déclinés en documents opératoires.

La future évolution des documents opérationnels pour les sites et l'ETC-N se fera sur la base de la version 5 des notes d'études du CIPN et du SEPTEN prenant en compte les évolutions intellectuelles et matérielles de la gestion d'un accident grave issues d'une part des études et d'autre part des retombées d'instructions avec l'ASN découlant de ces dernières années (extension du domaine d'application, simplification de la gestion des appoints, mise en place de capteur(s) de températures dans le puits de cuve pour détecter le percement de la cuve, mise en place de capteurs de température dans 2 RAP pour identifier le bon fonctionnement de ceux-ci en présence d'hydrogène,...).

Pour le palier CPY y compris le site de Cruas, la note d'étude CIPN indice V5 [7] sur la conduite d'un accident grave a été rédigée et le travail de rédaction des documents opératoires est en cours de finalisation par l'UNIE (GPSN/ONC).

Les équipes nationales de crise doivent proposer les actions de conduite en adéquation avec le niveau de connaissances en cours sur la conduite d'un accident grave. Pour illustrer ce dernier point, pour le palier CPY y compris Cruas, la note d'étude de référence est la note CIPN V5 [7] et pour le palier N4, la note CNEN V4B [13].

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	41 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

4.3. LES BARRIÈRES

Le domaine des accidents graves est caractérisé par le fait que les 3 barrières définies dans la méthode 3D/3P et constituées respectivement par **la gaine des crayons combustibles et la matrice du combustible**, par **l'enveloppe du circuit primaire du réacteur (bâche d'effluents et circuits connectés compris)** et par **l'enceinte de confinement et ses extensions** vont progressivement être dégradées par la progression du corium et ne plus jouer un rôle aussi important. Il n'en demeure pas moins qu'au début de la fusion du cœur, les 3 barrières sont bien présentes et doivent être prises en compte dans l'analyse de l'état de l'installation. C'est particulièrement vrai pour les situations où le retour de l'injection de sécurité aurait permis de stopper la dégradation du cœur en cuve. La méthode D/P AG doit donc toujours considérer les 3 barrières même si au fur et à mesure de la progression de l'accident certaines « disparaissent » ou évoluent.

La méthode D/P AG retient donc comme barrière :

- **Combustible – Corium** (au lieu de Gainses – Combustible)
- **Circuit primaire** (même définition que pour la méthode 3D/3P)
- **Enceinte** (même définition que pour la méthode 3D/3P)

4.3.1. LA PREMIÈRE BARRIÈRE : COMBUSTIBLE - CORIUM

4.3.1.1. Les différents états de la première barrière

Trois états de dégradation ont été retenus dans la méthode D/P AG :

- **Fusion : xx %** (évaluation par le SEPTEN et l'IRSN),
- **Géométrie dégradée**,
- **Corium**.

L'état « Fusion à xx % » correspond au pourcentage de l'émission du combustible des Produits de Fissions (PF) les plus volatils.

L'état « géométrie dégradée » correspond à un état du cœur présentant des effondrements localisés d'une partie du combustible.

L'état « corium » correspond à la formation du corium par liquéfaction du combustible et des matériaux de structure.

4.3.1.2. Détermination qualitative de l'état de la première barrière

Compte tenu des capteurs encore disponibles en accident grave, il existe peu de moyen d'évaluer précisément l'état du cœur.

Néanmoins, les deux mesures de débit de dose dans l'enceinte de confinement peuvent permettre d'évaluer un ordre de grandeur du pourcentage d'émission des produits de fission les plus volatils (détermination du « pourcentage de fusion du cœur ») à l'aide d'outils de crise (abaques/codes).

Cette évaluation devrait être confirmée par les mesures d'activité volumique à la cheminée interprétée également à l'aide d'abaques.

Il n'existe pas d'autre instrumentation permettant de suivre la dégradation du cœur. Sur la base des études disponibles et du temps depuis l'entrée dans le GIAG, de la puissance résiduelle et de la pression primaire au moment du dénoyage du cœur, il pourrait peut-être être possible à un spécialiste d'indiquer quel stade de dégradation du cœur a été atteint.

4.3.2. LA DEUXIÈME BARRIÈRE : CIRCUIT PRIMAIRE

4.3.2.1. Les différents états de la deuxième barrière

Deux états de dégradation de la seconde barrière ont été retenus dans la méthode D/P AG :

- **brèche primaire**,
- **cuve percée**.

L'état « intègre » présent dans la méthode 3D/3P n'a pas été retenu, car il est peu probable que le cœur fusionne en l'absence d'ouvertures sur le circuit primaire.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 42 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

En cas de brèche primaire, il faut déterminer s'il s'agit :

- d'une brèche **intérieure enceinte** en précisant le diamètre de la brèche,
- de l'ouverture volontaire ou non d'une ou de plusieurs **LDP** en indiquant le nombre de LDP ouvertes,
- d'une brèche primaire **extérieure enceinte**,
- d'une **RTGV**.

La conduite des appoints d'eau au circuit primaire préconisée par les GIAG actuels [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] dépendant des tailles des ouvertures du circuit primaire et du palier, il a été jugé opportun de les mentionner sur la grille D/P AG.

4.3.2.2. Détermination qualitative de l'état de la deuxième barrière

En ce qui concerne les brèches primaires, hors percée de la cuve, il n'y a pas de différence fondamentale avec les pratiques décrites au paragraphe 3.6.2.2.

En revanche, la méthode D/P AG fait apparaître l'état particulier « Cuve percée » par action du corium se répandant au fond de la cuve. Il n'existe pas actuellement de moyen pour détecter de façon infaillible la percée de la cuve. Dans le cadre des troisièmes visites décennales des réacteurs du palier 900 MWe, une instrumentation spécifique pour la détection de la rupture de la cuve sera implantée sur ces installations. En attendant, l'interprétation de certains paramètres telle que la mesure de la pression dans l'enceinte peut aider à se forger une opinion.

4.3.3. LA TROISIÈME BARRIÈRE : ENCEINTE

4.3.3.1. Les différents états de la troisième barrière

Cinq états ont été retenus pour qualifier l'intégrité de la troisième barrière :

- **fuite normale**,
- fuite anormale directe (**fuite directe**),
- fuite anormale vers les bâtiments auxiliaires (**fuite vers les bâtiments aux.**),
- **circuit U5 en service**,
- **radier percé**.

Les quatre premiers états sont identiques à ceux de la méthode 3D/3P décrite au paragraphe 3.6.3.1. Le cinquième est spécifique à la problématique accident grave : lorsque le corium tombe sur le radier en béton au fond du puits de cuve, il va progressivement ablater le béton jusqu'à éventuellement traverser le radier et créer une fuite importante du confinement via le sol.

En cas d'accident grave, la pression dans l'enceinte peut atteindre voire dépasser la valeur limite de dimensionnement. La procédure U5 prévoit d'utiliser un dispositif de dépressurisation de l'enceinte afin d'éviter sa ruine. Malgré l'existence d'un filtre et d'un pré-filtre sur le circuit de dépressurisation U5, les rejets dans l'environnement seront importants. La case « **circuit U5 en service** » doit être cochée.

4.3.3.2. Détermination qualitative de l'état de la troisième barrière

Les indications permettant d'apprécier l'étanchéité de l'enceinte et l'identification d'un chemin de fuite présentées au paragraphe 3.6.3.2 restent valables.

En ce qui concerne plus spécifiquement la percée du radier par le corium, il est à noter qu'il n'existe pas de moyen de suivre la progression de ce phénomène. En revanche, la percée effective du radier pourra être identifiée par l'évolution brutale à la baisse de la pression dans l'enceinte de confinement et par l'augmentation importantes des mesures d'activités réalisées dans l'environnement (balises fixes ou mobiles). Une augmentation de la pression enceinte peut également permettre d'identifier que le corium a atteint l'eau des puisards du bâtiment réacteur par percée latérale du puits de cuve.



4.4. LES FONCTIONS DE SÛRETÉ

Le concept des fonctions de sûreté associées à chaque barrière a été étendu dans la méthode D/P AG par rapport à la méthode 3D/3P.

Les fonctions de sûreté de la méthode D/P AG sont :

- soit des conditions nécessaires pour conserver l'intégrité de la barrière ou éviter une dégradation supplémentaire (correspond à la définition des fonctions de sûreté de la méthode 3D/3P),
- soit des conditions nécessaires pour limiter le risque d'occurrence d'un phénomène physique redouté,
- soit des conditions limitant l'utilisation d'un moyen de contrôle de l'accident.

Lorsque la fonction de sûreté est une condition pour limiter l'occurrence d'un phénomène dangereux, le risque associé à la fonction de sûreté est précisé dans la grille D/P AG.

4.4.1. FONCTIONS DE SÛRETÉ ASSOCIÉES À LA PREMIÈRE BARRIÈRE

Les deux fonctions de sûreté associées à la première barrière de la méthode 3D/3P sont reprises par la méthode D/P AG, à savoir :

- **contrôle de la réactivité,**
- **inventaire en eau du RCP.**

4.4.1.1. La fonction de sûreté « contrôle de la réactivité »

A noter que la première barrière (Combustible - Corium) va passer de l'état combustible à l'état corium et que la fonction de sûreté « contrôle de la réactivité » restera pertinente au cours de toutes les phases de l'accident grave.

La marge disponible par rapport au risque de retour en criticité du cœur ou du corium sera qualifiée de :

- **confortable** si la marge d'anti-réactivité est largement suffisante pour exclure tout retour en criticité du cœur ou du corium,
- **faible** si la marge d'anti-réactivité est suffisante pour compenser une éventuelle dilution ou une reconfiguration défavorable du corium,
- **insuffisante** si la marge d'anti-réactivité n'est pas suffisante pour exclure un retour en criticité du combustible ou du corium,
- **douteuse** si aucun élément ne permet d'apprécier la criticité du cœur ou du corium.

L'état de la fonction de sûreté doit être déterminé à partir de l'évaluation de la concentration en bore de l'eau en contact avec le combustible ou le corium.

4.4.1.2. La fonction de sûreté « inventaire en eau »

Les quatre états de la fonction de sûreté « inventaire en eau du RCP » sont :

- **satisfaisant,**
- **dégradé,**
- **dénoyage,**
- **douteux.**

L'état de la fonction de sûreté ne peut plus être déterminé sur la seule base des mesures : l'ébulliomètre qui fournit la mesure de niveau cuve et la marge à saturation est indisponible et le niveau pressuriseur n'est pas qualifié aux conditions rencontrées en accident grave. Il faudra l'évaluer à partir notamment des informations disponibles sur le fonctionnement des systèmes RIS et des connaissances des spécialistes.

Il a été associé à la fonction sûreté « inventaire en eau du RCP » le « **risque d'explosion vapeur en cuve** » qui dépend, entre autre, de la présence ou non d'eau au fond de la cuve au moment des premières coulées de corium.

4.4.2. FONCTIONS DE SÛRETÉ ASSOCIÉES À LA DEUXIÈME BARRIÈRE

Deux fonctions de sûreté associées à la deuxième barrière sont définies par la méthode D/P AG :

- **évacuation de la puissance du RCP,**
- **évacuation de la puissance du fond de la cuve.**

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 44 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

4.4.2.1. La fonction de sûreté « évacuation de la puissance du RCP »

Les 3 états de la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du RCP » sont :

- **suffisante,**
- **non suffisante,**
- **douteuse.**

Cette fonction de sûreté est identique à celle de la méthode 3D/3P. Son état sera évalué essentiellement en fonction de la taille des ouvertures sur le circuit primaire (brèches, LDP) et également à partir de la disponibilité (GV utilisable(s) : nouveau vocabulaire APE) des générateurs de vapeur (GV), les capteurs du circuit primaire de pression et de température qui devraient être utilisés n'étant pas qualifiés aux conditions en accident grave. Le « **risque de DCH** » est associé à cette fonction de sûreté : si, au moment de la rupture de la cuve sous l'effet du corium relocalisé en fond de cuve, la pression dans le circuit primaire est importante (l'évacuation de la puissance du RCP n'étant pas suffisante), le corium risque d'être éjecté hors de la cuve sous la forme de fines particules. Le transfert thermique entre le corium et l'atmosphère de l'enceinte étant proportionnel à la surface d'échange, l'enceinte de confinement risque de monter rapidement en pression et en température.

4.4.2.2. La fonction de sûreté « évacuation de la puissance du fond de la cuve »

Cette fonction de sûreté est spécifique à la méthode D/P AG : elle a été introduite pour traduire le phénomène de percement du fond de la cuve sous l'effet de la température du corium.

Les 3 états de la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du fond de la cuve » sont :

- **suffisante,**
- **non suffisante,**
- **douteuse.**

Une évacuation de la puissance du fond de la cuve suffisante implique que la cuve restera intègre, une évacuation non suffisante conduit à la rupture de la cuve à terme. Il n'existe pas de moyen permettant de qualifier a priori l'état de cette fonction de sûreté. Son évaluation en crise reposera donc uniquement sur l'avis des spécialistes.

4.4.3. FONCTION DE SÛRETÉ ASSOCIÉE À LA DEUXIÈME ET LA TROISIÈME BARRIÈRE

La méthode D/P AG présente la particularité par rapport à la méthode 3D/3P d'associer à la seconde et à la troisième barrière une fonction de sûreté commune : la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du corium ». Cette fonction est centrale pour la maîtrise de l'accident grave qui progressera tant que le corium ne sera pas suffisamment refroidi.

4.4.3.1. La fonction de sûreté « évacuation de la puissance du corium »

Les 3 états de la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du corium » sont :

- **suffisante,**
- **non suffisante,**
- **douteuse.**

Si un moyen permet d'extraire l'énergie produite par le corium de façon suffisante et pérenne, celui-ci cessera d'ablater l'acier de la cuve ou le béton du radier de l'enceinte de confinement. L'état de cette fonction de sûreté ne peut être déterminé que sur la base de l'avis des spécialistes, aucune instrumentation n'étant disponible pour l'évaluer (à l'exception des sites ayant intégré l'évolution matérielle de mise en place de capteur(s) de température dans le puits de cuve).

Il existe une incertitude concernant la trajectoire du corium dans le radier : celui-ci peut progresser de façon préférentielle soit verticalement, soit latéralement et atteindre l'eau des puisards du bâtiment réacteur. La vaporisation de l'eau des puisards entraînerait une forte montée en pression de l'enceinte de confinement. La grille D/P AG demande donc de préciser si les puisards ont été atteints (partie diagnostic) ou s'ils risquent d'être atteints (partie pronostic). Il est à noter que la mesure de pression enceinte gamme large permet de préciser cette situation.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	45 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

4.4.4. FONCTIONS DE SÛRETÉ ASSOCIÉES À LA TROISIÈME BARRIÈRE

Six fonctions de sûreté sont associées à la troisième barrière dans la méthode D/P AG en plus de la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du corium » :

- inventaire en eau du puits de cuve,
- inventaire en eau du BR,
- évacuation de la puissance du BR,
- contrôle de la composition de l'atmosphère,
- confinement,
- inventaire en eau des GV.

Elles traduisent globalement les multiples modes de dégradation envisageables de l'enceinte de confinement. La méthode 3D/3P ne considère que les fonctions de sûreté « évacuation de la puissance du BR » et « confinement » qui inclut également la fonction de sûreté « contrôle de la composition de l'atmosphère de l'enceinte ».

4.4.4.1. La fonction de sûreté « Inventaire en eau du puits de cuve »

La fonction de sûreté « inventaire en eau du puits de cuve » a principalement pour objectif d'évaluer le « risque d'explosion vapeur hors cuve » suite à la chute du corium sur le radiateur. Elle peut prendre les états suivants :

- puits de cuve sec,
- puits de cuve inondé,
- douteuse.

Aucune instrumentation n'existant dans le puits de cuve pour détecter la présence d'eau, l'état de la fonction de sûreté sera établi sur la base de l'avis des spécialistes compte tenu notamment du fonctionnement passé et présent du système EAS ou de la présence d'une brèche sur la cuve.

4.4.4.2. La fonction de sûreté « Inventaire en eau du BR »

Le GIAG [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] limite à l'équivalent de 2 bâches PTR la quantité d'eau pouvant être injectée dans le bâtiment réacteur afin de conserver la disponibilité du capteur de pression enceinte (au-delà de 2 bâches PTR, la traversée du capteur pression enceinte serait noyée). Le respect de cette valeur permet aussi de préserver le préfiltre U5. La fonction de sûreté « inventaire en eau du BR » a été introduite dans la méthode D/P AG afin d'évaluer la possibilité de continuer à injecter de l'eau dans le BR. Ses états sont :

- vide,
- < 1 PTR,
- < 2 PTR,
- = 2 PTR,
- > 2 PTR,
- doute.

Son évaluation s'effectue sur la base de la comptabilisation de la quantité d'eau injectée dans le circuit primaire et dans l'enceinte de confinement depuis le début de l'accident. En diagnostic, la grille D/P AG demande d'indiquer la quantité d'eau évaluée dans le BR (« Masse d'eau dans le BR »).

4.4.4.3. La fonction de sûreté « évacuation de la puissance du BR »

La fonction de sûreté « évacuation de la puissance du BR » est identique à celle de la méthode 3D/3P. Les trois états associés à cette fonction de sûreté sont :

- suffisante,
- non suffisante,
- douteuse.

L'état de cette fonction de sûreté est déterminé en examinant l'évolution de la pression enceinte, une évolution en hausse traduisant une évacuation de l'énergie de l'enceinte insuffisante.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	46 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

4.4.4.4. La fonction de sûreté « contrôle de la composition de l'atmosphère de l'enceinte »

Cette fonction de sûreté, qui a pour objectif d'évaluer le risque « hydrogène », est identique à celle incluse dans la fonction de sûreté « confinement » de la méthode 3D/3P. Les trois états retenus pour cette fonction de sûreté sont les suivants :

- pas de risque de combustion hydrogène,
- risque de combustion hydrogène,
- doute.

La grille D/P AG demande d'indiquer l'évaluation par les spécialistes de la masse d'hydrogène émise dans l'enceinte de confinement (« Masse d'H₂ libérée dans l'enceinte »). Il est à noter que c'est la masse d'hydrogène restante qui peut poser un problème vis-à-vis du risque de combustion.

4.4.4.5. La fonction de sûreté « confinement »

Cette fonction de sûreté est identique à celle de la méthode 3D/3P. Elle est constituée par les 2 éléments fonctionnels suivants :

- « efficacité des systèmes d'isolement enceinte » qui assure l'isolement « mécanique » du BR,
- « efficacité du système EDE » qui assure le confinement dynamique des enceintes doubles.

Les 3 états de la fonction de sûreté « confinement » sont :

- confinement sûr,
- confinement non assuré,
- confinement douteux.

4.4.4.6. La fonction de sûreté « inventaire en eau GV »

La fonction de sûreté « inventaire en eau des GV » a pour objectif d'évaluer le « risque de RTGV » induit par l'échauffement des tubes GV en l'absence de refroidissement. Les quatre états retenus sont :

- satisfaisant,
- dégradé,
- asséché,
- douteux.

L'état satisfaisant correspond à des GV dont le niveau d'eau est supérieur au haut des tubes en U. L'état dégradé traduit un découverture des épingles GV. L'état asséché correspond à une absence d'eau côté secondaire. L'évaluation de cette fonction de sûreté devrait se fonder sur les niveaux GV gamme large. Ces capteurs n'étant pas qualifiés aux conditions d'accident grave, ils pourraient ne pas être représentatifs ou utilisables. L'évaluation de cette fonction reposera alors sur le fonctionnement notamment du système ASG et sur l'avis des spécialistes.

4.5. LES MOYENS PERMETTANT DE CONTRÔLER LES FONCTIONS DE SÛRETÉ

Une différence avec la méthode 3D/3P est que la méthode D/P AG ne fait plus référence aux systèmes utilisés pour le contrôle des fonctions, mais aux moyens qui peuvent influencer de façon différente et parfois antinomique plusieurs fonctions de sûreté. A titre d'exemple, un moyen pour maîtriser l'accident peut être constitué par l'action d'injecter de l'eau sur le corium. Cette action, qui ne peut être que bénéfique pour la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du corium », peut être défavorable pour l'évolution de la pression enceinte si la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du BR » ne peut pas être assurée et limitée par la fonction de sûreté « inventaire en eau du BR ».

Un moyen de la méthode D/P AG peut être une action sur un système, une condition à remplir (par exemple, ne pas dépressuriser l'enceinte pour limiter le risque hydrogène) ou un état de l'installation (brèche).

Une liste, non exhaustive, des moyens pour chaque fonction de sûreté de la méthode D/P AG est indiquée ci-après.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	47 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

4.5.1. MOYENS ASSOCIÉS AUX FONCTIONS DE SÛRETÉ DE LA PREMIÈRE BARRIÈRE

Les moyens associés aux fonctions de sûreté « **contrôle de la réactivité** » et « **inventaire en eau du RCP** » étant communs, ils sont indiqués dans une unique case de la grille D/P AG. Ils sont constitués par tous les moyens disponibles d'injection d'eau dans le circuit primaire et par la concentration en bore de l'eau injectée. A noter que le GIAG [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] prohibe l'injection d'eau non borée pour éviter des retours en criticité du corium.

4.5.2. MOYENS ASSOCIÉS AUX FONCTIONS DE SÛRETÉ DE LA DEUXIÈME BARRIÈRE

4.5.2.1. Moyens associés à la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du RCP »

Les moyens permettant de dépressuriser le circuit primaire sont :

- les brèches,
- l'ouverture des LDP,
- le refroidissement par les GV en considérant les vannes GCTa et les moyens de réalimentation en eau des GV (ASG, CEX).

4.5.2.2. Moyens associés à la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du fond de la cuve »

Les moyens pour refroidir la cuve et éviter sa rupture sont :

- les moyens d'injection d'eau dans la cuve,
- pour certains PWR autres que ceux d'EDF, les moyens spécifique de noyer le puits de cuve dans le but de la refroidir par l'extérieur (ESKOM,...).

4.5.2.3. Moyens associés à la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du corium »

Les moyens pour refroidir le corium sont constitués par l'ensemble des moyens permettant d'injecter de l'eau sur le cœur en fusion.

4.5.3. MOYENS ASSOCIÉS AUX FONCTIONS DE SÛRETÉ DE LA TROISIÈME BARRIÈRE

4.5.3.1. Moyens associés à la fonction de sûreté « inventaire en eau du puits de cuve »

Les moyens qui conduisent à ce qu'il y ait de l'eau dans le puits de cuve sont essentiellement constitués, avant la percée de la cuve, par l'aspersion enceinte (système EAS). Après la rupture de la cuve, les moyens permettant d'injecter de l'eau dans la cuve conduiront également à mettre de l'eau dans le puits de cuve.

4.5.3.2. Moyens associés à la fonction de sûreté « inventaire en eau du BR »

Cette fonction de sûreté a pour objectif de limiter la quantité d'eau dans le BR. Le moyen pour contrôler l'inventaire en eau du BR est d'arrêter les injections en cours et de n'utiliser que des systèmes recirculant l'eau contenue dans les puits du bâtiment réacteur. Dans ce cas, il faut être vigilant au risque de fuite hors BR.

4.5.3.3. Moyens associés à la fonction de sûreté « évacuation de la puissance du BR »

Les moyens permettant d'évacuer la puissance de l'enceinte de confinement sont le système EAS, les GV (GCTa et ASG) et le système de dépressurisation U5.

4.5.3.4. Moyens associés à la fonction de sûreté « contrôle de la composition de l'atmosphère »

Les moyens ayant une influence sur le risque hydrogène sont :

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	48 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

- les actions permettant de limiter la production d'hydrogène tel que l'arrêt des faibles appoints en eau pendant la dégradation du cœur,
- les Recombineurs Auto-catalytiques Passifs (RAP) installés sur tous les réacteurs EDF ; un certain délai est nécessaire avant que l'hydrogène soit consommé (6 heures minimum). Il est à noter qu'une évolution matérielle sur la mise en place de capteurs de température dans 2 RAP est prévue (en cours dans le cadre de la VD3 CPY) ;
- la pression dans l'enceinte de confinement ; au delà de 4 bars dans l'enceinte, l'atmosphère du bâtiment réacteur est inertée (il n'y a plus de risque de combustion).

4.5.3.5. Moyens associés à la fonction de sûreté « confinement »

Les moyens associés à la fonction de sûreté « confinement » sont :

- les vannes d'isolement de l'enceinte dont les positions peuvent être vérifiées par le compte rendu des isolements enceinte phase 1 et phase 2 ;
- le système EDE pour les paliers à double enceinte comprenant les ventilateurs et les filtres et pièges à iode associés à leur réchauffeur.

4.5.3.6. Moyens associés à la fonction de sûreté « inventaire en eau des GV »

Les moyens associés à la fonction de sûreté « inventaire en eau des GV » sont tous les moyens capables d'injecter de l'eau dans les GV tels que l'ASG ou le CEX.

4.6. LA MÉTHODE D/P AG

De la même manière que la méthode 3D/3P, la méthode D/P AG consiste à évaluer périodiquement l'état des barrières (diagnostic) et leur évolution prévisible (pronostic) afin de caractériser le rejet réel et/ou potentiel d'activité dans l'environnement.

Pour chaque barrière, on distingue une phase de diagnostic suivie d'une phase de pronostic :

- phase de diagnostic :
 - l'état de la barrière est évalué ;
 - les fonctions de sûreté sont caractérisées en termes de marge ; les risques sont identifiés et évalués ;
 - les moyens participant au maintien des fonctions de sûreté sont identifiés ;
- phase de pronostic :
 - la disponibilité à terme des moyens participant au maintien des fonctions de sûreté est examinée (sans prendre en compte de défaillance supplémentaire dont la cause serait indépendante de l'accident) ;
 - l'évolution à terme des fonctions de sûreté est déduite de l'état à terme des moyens utilisés ; les risques sont identifiés et évalués ;
 - l'état à terme de la barrière est déduit de l'état à terme des fonctions de sûreté associées et **des risques identifiés** en fonction de l'évaluation de leur conséquence et de l'importance que leur accorde les équipes techniques de crise ; les cinétiques de la dégradation des barrières (dégradation du cœur, activité enceinte, percée de la cuve, ouverture U5, percée du radier) sont évaluées et indiquées sur la grille D/P AG.

L'objectif de la méthode D/P AG est d'examiner l'ensemble des risques pouvant être rencontrés en accident grave. Au vue de la difficulté de caractériser précisément l'état de l'installation en accident grave, il est parfaitement concevable que toutes les cases de la grille D/P AG ne soient pas renseignées par les équipes. Il est également certain qu'un certain nombre de fonctions seront qualifiées de douteuses pendant tout l'accident.

Elle ne se substitue pas à l'application du GIAG, qui reste l'outil d'expertise accident grave.

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	49 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0

Néanmoins, la grille D/P AG a pour objectif de synthétiser la compréhension qu'ont les équipes techniques de crise du déroulement de l'accident et des phénomènes physiques associés. En ce sens, la grille D/P AG est un moyen d'afficher les incertitudes ou les doutes des équipes face au déroulement de l'accident et sur les risques prépondérants.

5. LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1 :** Grilles 3D/3P
ANNEXE 2 : Message pré-formaté utilisé pour le pronostic aggravé
ANNEXE 3 : Grilles D/P accident grave
ANNEXE 4 : Message de synthèse – Folio installation
ANNEXE 5 : Exemples de grilles 3D/3P complétées pour divers scénarios d'accidents
ANNEXE 6 : Tableaux récapitulatifs donnant les taux de défaillance en fonctionnement des principaux matériels de sauvegarde, sur les paliers 900 MWe et 1300 MWe (**Ces données indicatives sont issues de la note 3D/3P IRSN [2]**).

6. LISTE DES DOCUMENTS SUPPORTS

- [1] Organisation nationale de crise – Démarche de réflexion des Équipes Techniques de Crise – Méthode 3D/3P « Triple Diagnostic / Triple Pronostic » - JL. BOSSARD, Ph. LEMAITRE, S. RENIER – note EDF : D4002-43.2.1 NT 95/08
- [2] Méthode d'expertise d'un accident affectant un réacteur à eau pressurisée – Méthode 3D/3P – Note technique DEI/SESUC/06-98 – E. COGEZ
- [3] Action GGAG 16.8 : Modalités de prise en compte d'un facteur aggravant dans l'application de la démarche « triple diagnostic-triple pronostic » - Fiche technique IPSN/DPEA/SECRI/98-20 révision 1
- [4] Adaptation de la méthode d'expertise 3D/3P pour les situations d'accident grave des REP – Méthode D/P AG – Note technique DEI/SESUC/08-98 – E. COGEZ
- [5] Guide d'Intervention en Accident Grave – GIAG V4 CPY – Note EDF ENFCRI050018 A
- [6] Guide d'Intervention en Accident Grave – GIAG V4B CPY – Note EDF ENFCRI081094 A
- [7] Guide d'Intervention en Accident Grave – GIAG V5 CPY y compris Cruas – Note EDF EMEFC091504 A
- [8] Guide d'Intervention en Accident Grave – GIAG V3B CP0 – Note EDF EMESF050615 A
- [9] Guide d'Intervention en Accident Grave – GIAG V3B CPY – Note EDF ENFCRI030165 A
- [10] Guide d'Intervention en Accident Grave – GIAG V3B Cruas – Note EDF EMESC040146 A
- [11] Guide d'Intervention en Accident Grave – GIAG V3B 1300 – Note EDF EMESF040358 A
- [12] Guide d'Intervention en Accident Grave – GIAG V3B N4 – Note EDF ECEF/05 0019 A
- [13] Guide d'Intervention en Accident Grave – GIAG V4B N4 – Note EDF ECEF/08 2366 B

7. LISTE DES ABRÉVIATIONS ET GLOSSAIRE

3D/3P	Triple diagnostic/triple pronostic
ΔT_{sat}	Marge à la saturation
AAR	Arrêt Automatique du Réacteur
AG	Accident Grave
ANG	Alimentation Normale des GV
APE	Approche Par États

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page :	50 / 67
		Réf. :	D4550.34-12/2967
		Indice :	0
ASG	Alimentation de Secours des Générateurs de vapeur		
APG	Purge des Générateurs de vapeur		
BAN	Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires		
BAS	Bâtiment des Auxiliaires de Sauvegarde		
BF	Branche Froide		
BK	Bâtiment combustible		
BR	Bâtiment Réacteur		
BW	Bâtiment périphérique		
CB	Concentration en Bore		
CEA	Commissariat à l'Énergie Atomique		
CEI	Cellule Évaluation de l'installation (IRSN)		
CEX	Circuit d'Extraction du condenseur		
CNC	Centre Nationaux de Crise		
CNI	Chaînes Nucléaires Intermédiaires		
CNPE	Centre Nucléaire de Production d'Électricité		
CP0	Réacteur de type 900 MWe des CNPE de Fessenheim et Bugey		
CPY	Réacteur de type 900 MWe		
CTC	Centre Technique de Crise		
CVI	Vide au condenseur		
DCH	Direct Containment Heating (Échauffement direct de l'enceinte)		
D/P	Diagnostic/Pronostic		
DVN	Système de ventilation et purification du BAN		
DVW	Système de ventilation et purification du BW		
DVS	Système de ventilation et purification du BAS		
DVK	Système de ventilation et purification du BK		
EAS	Système Aspersion Enceinte		
EDE	Système de ventilation et purification de l'EEE		
EDF	Électricité de France		
EEE	Espace Entre Enceintes		
ETC-N	Équipe Technique Nationale de Crise (EDF)		
ETY	Système de ventilation du BR		
FBA	Fonction de Borication Automatique		
GAEC	Guide d'Actions des Équipes de Crise		
GCAC	Groupe de Coordination des Activités de Crise		
GCT	Groupe de Contournement de la Turbine		
GIAG	Guide d'Intervention en Accident Grave		
GMPP	Groupe MotoPompe Primaire		
GV	Générateur de Vapeur		
H1	Perte totale de la source froide		
H2	Perte totale de l'alimentation en eau des GV		
H2	Hydrogène		
H3	Perte totale des alimentations électriques		
H4/U3	Procédure de sauvegarde des systèmes RIS et EAS		
HBC	Haut des Branches Chaudes		
ICB	Interaction Corium Béton		
IS	Injection de Sécurité		
ISBP	Injection de Sécurité Basse Pression		
ISHP	Injection de Sécurité Haute Pression		
ISMP	Injection de Sécurité Moyenne Pression		

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 51 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0
IRSN	Institut de radioprotection et de Sûreté Nucléaire	
KRT	Radioprotection (mesure d'activité)	
LDP	Lignes de Décharge du Pressuriseur	
LLS	Turbo Alternateur de Secours	
ONC	Organisation Nationale de Crise	
N4	Réacteur de type 1450 MWe	
P4	Réacteur de type 1300 MWe	
P'4	Réacteur de type 1300 MWe	
PCD	Poste de Commandement Direction	
PI	Piège à Iode	
PQY	Réacteur de type 1300 MWe	
PTR	Traitement et refroidissement de l'eau des piscines	
RAP	Recombineur Auto-catalytique Passif	
RCP	Circuit Primaire du Réacteur	
RCV	Système de Contrôle chimique et Volumétrique	
RDP	Réservoir de Décharge du Pressuriseur	
REA	Système de régulation de l'Appoint du réacteur	
REN	Échantillonnage nucléaire	
REP	Réacteur à eau pressurisée	
RIC	Instrumentation Cœur du Réacteur	
RIS	Système d'Injection de Sécurité	
RPE	Purges et Événements du Réacteur	
RRA	Système de Refroidissement du Réacteur à l'Arrêt	
RRI	Refroidissement Intermédiaire	
RTE	Rupture de Tuyauterie d'Eau alimentaire	
RTGV	Rupture de Tube(s) de Générateur de Vapeur	
RTV	Rupture de Tuyauterie Vapeur	
SdC	Sommet du Cœur	
SEB	Circuit d'Eau Brute (CP0)	
SEC	Circuit d'Eau brute Secouru	
SPE	Surveillance Permanente par État (procédure APE de l'IS/CE)	
THE	Très Haute Efficacité	
TPS	Turbo Pompe de Secours	
U5	Procédure de conduite ultime pour ouvrir le système de dépressurisation de l'enceinte	
VCD	Groupe de contournement de la turbine (CP0)	
VVP	Circuit de vapeur principal	

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 52 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

ANNEXE 1 – GRILLE 3D/3P



METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT
UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE
3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG

Site : _____		Tranche : _____		Date : _____		Heure : _____		Destinataires : _____	
Rédacteur : _____		Nom : _____		Visa : _____		Contrôleur : _____		Nom : _____	
MESSAGE 3D/3P INSTALLATION									
FICHE " DIAGNOSTIC - PRONOSTIC " : FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION									
N° PRONOSTIC									
Etat des barrières		Etat des fonctions de sûreté		Systèmes utilisés pour le contrôle des fonctions		Disponibilité à terme des systèmes		Etat à terme des fonctions de la réactivité	
GAINÉ-COMBUSTIBLE Pas de rupture de gaines <input type="checkbox"/> Ruptures de gaines <input type="checkbox"/> Fusion <input type="checkbox"/> Inventaire en eau RCP		Contrôle de la réactivité Inventaire en eau RCP						Contrôle de la réactivité Inventaire en eau RCP	
CIRCUIT PRIMAIRE Intègre <input type="checkbox"/> Douce <input type="checkbox"/> Brèche primaire <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Intérieur enceinte <input type="checkbox"/> LDP <input type="checkbox"/> joints des GMPP <input type="checkbox"/> extérieure enceinte <input type="checkbox"/> RTGV		Evacuation puissance RCP						CIRCUIT PRIMAIRE Intègre <input type="checkbox"/> Douce <input type="checkbox"/> Brèche primaire <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Intérieur enceinte <input type="checkbox"/> LDP ouvertes à h <input type="checkbox"/> joints des GMPP <input type="checkbox"/> extérieure enceinte <input type="checkbox"/> RTGV isolée à h	
ENCEINTE Fuite normale <input type="checkbox"/> Douce <input type="checkbox"/> Fuite directe <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> traversée <input type="checkbox"/> PTR <input type="checkbox"/> secondaire <input type="checkbox"/> sas matériel Fuite vers bâtiments aux. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> traversée <input type="checkbox"/> circuit connecté <input type="checkbox"/> sas Circuit US en service <input type="checkbox"/> Ouvert le à h		Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)						ENCEINTE Fuite normale <input type="checkbox"/> Douce <input type="checkbox"/> Fuite directe <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> traversée <input type="checkbox"/> PTR <input type="checkbox"/> secondaire isolé à h <input type="checkbox"/> sas matériel Fuite vers bâtiments aux. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> traversée <input type="checkbox"/> circuit connecté isolée à h <input type="checkbox"/> sas Circuit US ouvert <input type="checkbox"/> à h	



ANNEXE 2

MESSAGE PRE-FORMATE POUR LE PRONOSTIC AGGRAVÉ

MESSAGE PRONOSTIC AGGRAVE

Site :	Tranche :	Date :	Heure :
Rédacteur	Nom :	Visa :	Visa :
		Contrôleur	Nom

FICHE "PRONOSTIC AGGRAVE" N°

Etat à ___h__mn	AGGRAVANT RETENU :	Disponibilité des systèmes en prenant en compte l'AGGRAVANT	HYPOTHESES prises pour l'aggravant :				
Etat à terme des barrières	Etat à terme des fonctions de sûreté		Activités maximales susceptibles d'être rejetées, en prenant en compte le PRONOSTIC AGGRAVE, dans les prochaines 24 heures à partir de ___h__mn				
GAINÉ-COMBUSTIBLE	Contrôle de la réactivité		Gaz rares: Bq Iodes: Bq Césiums: Bq Tellures: Bq				
Pas de rupture de gaines <input type="checkbox"/>			Classe de météo : Direction d'où vient le vent :				
Rupture de gaines à ___h__mn <input type="checkbox"/>	Inventaire en eau RCP						
Fusion à ___h__mn <input type="checkbox"/>	Evacuation puissance RCP						
CIRCUIT PRIMAIRE	Evacuation puissance des joints des GMPP						
Intègre <input type="checkbox"/>							
Doute <input type="checkbox"/>							
Brèche primaire <input type="checkbox"/>							
<input type="checkbox"/> intérieure enceinte							
<input type="checkbox"/> LDP ouvertes à ___h__mn							
<input type="checkbox"/> Joints des GMPP							
<input type="checkbox"/> extérieure enceinte							
<input type="checkbox"/> RTGV isolée à ___h__mn							
ENCEINTE	Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité EDE, contrôle composition atmosphère)						
Fuite normale <input type="checkbox"/>							
Doute <input type="checkbox"/>							
Fuite directe <input type="checkbox"/>							
<input type="checkbox"/> traversée							
<input type="checkbox"/> PTR							
<input type="checkbox"/> secondaire							
<input type="checkbox"/> Sas matériel							
Fuite vers bâtiment aux. <input type="checkbox"/>							
<input type="checkbox"/> traversée							
<input type="checkbox"/> circuit connecté							
isolée à ___h__mn <input type="checkbox"/>							
<input type="checkbox"/> sas							
Circuit U5 ouvert	Evacuation puissance BR						
le ___à ___h__mn <input type="checkbox"/>							
				CONSEQUENCES RADIOLOGIQUES ESTIMEES (m Sv)			
				1 km	2 km	5 km	10 km
Dose efficace enfant							
Dose Thyroïde enfant							
COMMENTAIRES EVENTUELS :							



ANNEXE 3

MESSAGE D/P ACCIDENT GRAVE



METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT
UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE
3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG

Page : 57 / 67

Réf. : D4550.34-12/2967

Indice : 0

MESSAGE D/P ACCIDENT GRAVE

Site :	Tranche :	Date :	Heure :	Destinataires :
Rédacteur :	Nom :	V/sa :	V/sa :	Contrôleur :
			Nom :	Visa :

FICHE "DIAGNOSTIC-PRONOSTIC" : N°

DIAGNOSTIC		PRONOSTIC	
Etat des fonctions de sûreté	Systèmes utilisés pour le contrôle des fonctions	Disponibilité à terme des systèmes	Etat à terme des fonctions de sûreté
Etat des barrières COMBUSTIBLE-CORIUM Fusion :% (émission des GR) <input type="checkbox"/> Corium (refroidissement incertain) <input type="checkbox"/> CIRCUIT PRIMAIRE Brèche primaire <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> intérieure enceinte (d=.....) <input type="checkbox"/> LDP (nb :) <input type="checkbox"/> joints des GMPP <input type="checkbox"/> extérieure enceinte <input type="checkbox"/> RTGV Cuve percée <input type="checkbox"/> ENCEINTE Fuite normale <input type="checkbox"/> Doute <input type="checkbox"/> Fuite directe <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> traversée <input type="checkbox"/> PTR <input type="checkbox"/> secondaire <input type="checkbox"/> sas matériel <input type="checkbox"/>	CONTRÔLE DE LA REACTIVITE Inventaire en eau RCP Risque d'explosion vap en cuve : Evacuation puissance RCP Risque de DCH : Evacuation puissance fond de cuve EVACUATION PUISSANCE CORIUM	CONTRÔLE DE LA REACTIVITE Inventaire en eau RCP Risque d'explosion vap en cuve : Evacuation puissance RCP Risque de DCH : Evacuation puissance fond de cuve EVACUATION PUISSANCE CORIUM Risque d'atteindre les puisards : Inventaire en eau puits de cuve Risque d'explosion vap hors cuve : Inventaire en eau BR Evacuation puissance BR	COMBUSTIBLE-CORIUM Fusion :% (GR émis) <input type="checkbox"/> Fusion 100 % àh.....min <input type="checkbox"/> Corium <input type="checkbox"/> CIRCUIT PRIMAIRE Brèche primaire <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> intérieure enceinte <input type="checkbox"/> LDP (nb :) àh..... <input type="checkbox"/> joints des GMPP <input type="checkbox"/> extérieure enceinte <input type="checkbox"/> RTGV Cuve percée leà.....h..... <input type="checkbox"/> ENCEINTE Fuite normale <input type="checkbox"/> Doute <input type="checkbox"/> Fuite directe <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> traversée <input type="checkbox"/> PTR <input type="checkbox"/> secondaire <input type="checkbox"/> sas matériel <input type="checkbox"/> Fuite vers bâtiments aux. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> traversée <input type="checkbox"/> circuit connecté <input type="checkbox"/> SAS <input type="checkbox"/> Circuit U5 en service Ouvert leà.....h..... <input type="checkbox"/> Radier percé <input type="checkbox"/>



METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT
UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE
3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG

Page : 58 / 67

Réf. : D4550.34-12/2967

Indice : 0

ANNEXE 4

MESSAGE DE SYNTHÈSE FOLIO INSTALLATION



MESSAGE DE SYNTHESE POUR LE PCD-N (folio "INSTALLATION")

Site :	Tranche:	Date :	Heure :	Destinataire : PCD-N	Visa :
Emetteur: Spéc. Fonct. Accidentel	Nom :	Visa :	Nom :	Vérificateur : Animateur ETC-N	Visa :

Message n° 1 établi à l'issue de l'audiconférence du .../.../..... à ___h ___mn

DIAGNOSTIC

1. Quel est l'événement diagnostiqué ? :
2. Quelles sont les actions de restauration mises en œuvre pour maîtriser la situation et limiter les conséquences ?
3. Quels sont les délais de réalisation des actions ?

PRONOSTIC

1. Sur la base du pronostic sans facteur aggravant
 - pas de rupture de gaines
 - rupture de gaines à ___h ___mn
 - fusion à ___h ___mn
2. Pronostic aggravé éventuel proposé par IRSN / EDF : Oui Non
 - ▶ Hypothèse aggravante :
 - ▶ Conséquences :
 - pas de rupture de gaines
 - rupture de gaines à ___h ___mn
 - fusion à ___h ___mn
3. Ecart éventuel entre la position EDF et IRSN : Oui Non
 - ▶ Nature de l'écart :
 - ▶ Position SEPTEN :
 - ▶ Position AREVA :
4. Actions envisagées à terme (ouverture LDP, ouverture U5)



ANNEXE 5 :

Exemples de grilles 3D/3P complétées pour divers scénarios d'accidents



METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT
UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE
3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG

Page : 61 / 67
Réf. : D4550.34-12/2967
Indice : 0

Exemples fournis par l'IRSN

1 – Cas petite brèche

Site : Cruas	Tranche : 2	Date : 04/12/01	Heure : 15h30	Visa :	Emetteur : CEI	Destinataire : CD	
FICHE "DIAGNOSTIC – PRONOSTIC" : FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION (RCP FERME)						CAS petite brèche RCP	N° 4...
ETAT à ...15 h...00		DIAGNOSTIC		PRONOSTIC			
Etat des barrières	Etat des fonctions de sûreté	Systèmes utilisés pour le Contrôle des fonctions	Disponibilité à terme des systèmes	Etat à terme des fonctions de sûreté	Etat à terme des barrières		
GAINE - COMBUSTIBLE	Contrôle de la réactivité • confortable Inventaire en eau RCP	• barres de commande • Borication par IS	• barres de commande • Borication par IS	Contrôle de la réactivité • confortable Inventaire en eau RCP	GAINE - COMBUSTIBLE		
Pas de rupture de gaines	<input checked="" type="checkbox"/>	• IS	• IS puis passage en charge RCV	• satisfaisant	Pas de rupture de gaines à ... h ... <input checked="" type="checkbox"/>		
Ruptures de gaines	<input type="checkbox"/>	• réserves en eau : PTR	• réserves en eau : PTR	• satisfaisant	Ruptures de gaines à ... h ... <input type="checkbox"/>		
Fusion	<input type="checkbox"/>				Fusion à ... h ... <input type="checkbox"/>		
CIRCUIT PRIMAIRE	Evacuation puissance RCP			Evacuation puissance RCP	CIRCUIT PRIMAIRE		
Intègre	<input type="checkbox"/>	• GV (ASG + GCTa)	• GV (ASG + GCTa)	• contrôlée	Intègre <input type="checkbox"/>		
Doute	<input type="checkbox"/>			• suffisante	Doute <input type="checkbox"/>		
Brèche primaire	<input checked="" type="checkbox"/>		• connexion RRA		Brèche primaire <input checked="" type="checkbox"/>		
<input checked="" type="checkbox"/> intérieure enceinte					<input checked="" type="checkbox"/> intérieure enceinte		
<input type="checkbox"/> LDP		• RCV	• RCV		<input type="checkbox"/> LDP		
<input type="checkbox"/> Joints des GMPP	Evacuation puissance des joints des GMPP	• RCV	• RCV	• non nécessaire	<input type="checkbox"/> Joints des GMPP		
<input type="checkbox"/> extérieure enceinte		• RCV	• RCV		<input type="checkbox"/> extérieure enceinte		
<input type="checkbox"/> RTGV		• RCV	• RCV		<input type="checkbox"/> RTGV isolée à ... h ...		
<input type="checkbox"/> RTGV		• RCV	• RCV		<input type="checkbox"/> RTGV isolée à ... h ...		
ENCEINTE	Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)			Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)	ENCEINTE		
Fuite normale	<input checked="" type="checkbox"/>	• isolement enceinte phase 1	• isolement enceinte phase 1	• confinement sûr (isolement correct de l'enceinte / pas de risque de combustion hydrogène)	Fuite normale <input checked="" type="checkbox"/>		
Doute	<input type="checkbox"/>	• IE2 disponible	• IE2 disponible		Doute <input type="checkbox"/>		
Fuite directe	<input type="checkbox"/>		• pas de production H2		Fuite directe <input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> traversée		• EAS disponible à l'arrêt / RRI	• EAS disponible à l'arrêt / RRI		<input type="checkbox"/> traversée		
<input type="checkbox"/> PTR	Evacuation puissance BR			• suffisante	<input type="checkbox"/> PTR		
<input type="checkbox"/> Secondaire					<input type="checkbox"/> Secondaire isolé à ... h ...		
<input type="checkbox"/> Sas matériel					<input type="checkbox"/> Sas matériel		
Fuite vers bâtiments aux.	<input type="checkbox"/>				Fuite vers bâtiments aux. <input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> traversée					<input type="checkbox"/> traversée		
<input type="checkbox"/> circuit connecté					<input type="checkbox"/> circuit connecté isolé à ... h ...		
<input type="checkbox"/> sas					<input type="checkbox"/> sas		
Circuit U5 en service	<input type="checkbox"/>				Circuit U5 ouvert à ... h ... <input type="checkbox"/>		

2 – Cas grosse brèche

Site : Cruas	Tranche : 2	Date : 04/12/01	Heure : 15h30	Visa :	Emetteur : CEI	Destinataire : CD	
FICHE "DIAGNOSTIC – PRONOSTIC" : FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION (RCP FERME)						CAS grosse brèche RCP	N° 4...
ETAT à ...15 h...00		DIAGNOSTIC		PRONOSTIC			
Etat des barrières	Etat des fonctions de sûreté	Systèmes utilisés pour le Contrôle des fonctions	Disponibilité à terme des systèmes	Etat à terme des fonctions de sûreté	Etat à terme des barrières		
GAINE - COMBUSTIBLE	Contrôle de la réactivité • confortable Inventaire en eau RCP	• barres de commande • Borication par IS	• barres de commande • Borication par IS	Contrôle de la réactivité • confortable Inventaire en eau RCP	GAINE - COMBUSTIBLE		
Pas de rupture de gaines	<input type="checkbox"/>	• IS (ISHP+ISBP)	• IS (ISHP+ISBP)	• dégradé	Pas de rupture de gaines à ... h ... <input type="checkbox"/>		
Ruptures de gaines	<input checked="" type="checkbox"/>	• réserves en eau : PTR	• réserves en eau : PTR	• dégradé	Ruptures de gaines à ... h ... <input checked="" type="checkbox"/>		
Fusion	<input type="checkbox"/>		• puis puisards BR		Fusion à ... h ... <input type="checkbox"/>		
CIRCUIT PRIMAIRE	Evacuation puissance RCP			Evacuation puissance RCP	CIRCUIT PRIMAIRE		
Intègre	<input type="checkbox"/>	• GV (ASG + GCTa)	• GV (ASG + GCTa)	• non contrôlée	Intègre <input type="checkbox"/>		
Doute	<input type="checkbox"/>			• suffisante	Doute <input type="checkbox"/>		
Brèche primaire	<input checked="" type="checkbox"/>				Brèche primaire <input checked="" type="checkbox"/>		
<input checked="" type="checkbox"/> intérieure enceinte					<input checked="" type="checkbox"/> intérieure enceinte		
<input type="checkbox"/> LDP	Evacuation puissance des joints des GMPP	• RCV	• RCV	• non nécessaire	<input type="checkbox"/> LDP		
<input type="checkbox"/> Joints des GMPP		• RCV	• RCV		<input type="checkbox"/> Joints des GMPP		
<input type="checkbox"/> extérieure enceinte		• RCV	• RCV		<input type="checkbox"/> extérieure enceinte		
<input type="checkbox"/> RTGV		• RCV	• RCV		<input type="checkbox"/> RTGV isolée à ... h ...		
<input type="checkbox"/> RTGV		• RCV	• RCV		<input type="checkbox"/> RTGV isolée à ... h ...		
ENCEINTE	Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)			Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)	ENCEINTE		
Fuite normale	<input checked="" type="checkbox"/>	• isolement enceinte phase 1 et 2	• isolement enceinte phase 1 et 2	• confinement sûr (isolement correct de l'enceinte / pas de risque de combustion hydrogène)	Fuite normale <input checked="" type="checkbox"/>		
Doute	<input type="checkbox"/>				Doute <input type="checkbox"/>		
Fuite directe	<input type="checkbox"/>				Fuite directe <input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> traversée	Evacuation puissance BR	• EAS / RRI	• EAS / RRI	• suffisante	<input type="checkbox"/> traversée		
<input type="checkbox"/> PTR					<input type="checkbox"/> PTR		
<input type="checkbox"/> Secondaire					<input type="checkbox"/> Secondaire isolé à ... h ...		
<input type="checkbox"/> Sas matériel					<input type="checkbox"/> Sas matériel		
Fuite vers bâtiments aux.	<input type="checkbox"/>				Fuite vers bâtiments aux. <input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> traversée					<input type="checkbox"/> traversée		
<input type="checkbox"/> circuit connecté					<input type="checkbox"/> circuit connecté isolé à ... h ...		
<input type="checkbox"/> sas					<input type="checkbox"/> sas		
Circuit U5 en service	<input type="checkbox"/>				Circuit U5 ouvert à ... h ... <input type="checkbox"/>		

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 62 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

3 – Cas RTGV

Site : Cruas	Tranche : 2	Date : 04/12/01	Heure : 15h30	Visa :	Emetteur : CEI	Destinataire : CD	
FICHE "DIAGNOSTIC – PRONOSTIC" : FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION (RCP FERME)						CAS RTGV	N° 4
ETAT à ...15...h...00...	DIAGNOSTIC			PRONOSTIC			
Etat des barrières	Etat des fonctions de sûreté	Systèmes utilisés pour le Contrôle des fonctions	Disponibilité à terme des systèmes	Etat à terme des fonctions de sûreté	Etat à terme des barrières		
GAINE - COMBUSTIBLE	Contrôle de la réactivité • confortable	• barres de commande • Borication par IS, RCV • pas de rétrovidange	• barres de commande • Borication par IS	Contrôle de la réactivité • confortable	GAINE - COMBUSTIBLE		
Pas de rupture de gaines <input checked="" type="checkbox"/>	Inventaire en eau RCP			Inventaire en eau RCP	Pas de rupture de gaines <input checked="" type="checkbox"/>		
Ruptures de gaines <input type="checkbox"/>	• satisfaisant	• IS puis RCV (charge)	• RCV (charge)	• satisfaisante	Ruptures de gaines à ... h ... <input type="checkbox"/>		
Fusion <input type="checkbox"/>		• réserves en eau : PTR	• réserves en eau : PTR		Fusion à ... h ... <input type="checkbox"/>		
CIRCUIT PRIMAIRE	Evacuation puissance RCP			Evacuation puissance RCP	CIRCUIT PRIMAIRE		
Intègre <input type="checkbox"/>	• contrôlée	• GV (ASG + GCT)	• GV (ASG + GCT)	• contrôlée	Intègre <input type="checkbox"/>		
Doute <input type="checkbox"/>	• suffisante		• connexion RRA	• suffisante	Doute <input type="checkbox"/>		
Brèche primaire <input checked="" type="checkbox"/>					Brèche primaire <input checked="" type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> intérieure enceinte	Evacuation puissance des joints des GMPP	• RCV	• RCV	Evacuation puissance des joints des GMPP	<input type="checkbox"/> intérieure enceinte		
<input type="checkbox"/> LDP	• suffisante	• RRI	• RRI	• suffisante puis non nécessaire	<input type="checkbox"/> LDP		
<input type="checkbox"/> Joints des GMPP					<input type="checkbox"/> Joints des GMPP		
<input type="checkbox"/> extérieure enceinte					<input type="checkbox"/> extérieure enceinte		
<input checked="" type="checkbox"/> RTGV					<input checked="" type="checkbox"/> RTGV isolée à ... h ...		
ENCEINTE	Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)	• Pression GV écrêtée par GCTa	• Equilibrage des pressions primaire et secondaire puis dépressurisation	Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)	ENCEINTE		
Fuite normale <input type="checkbox"/>	• confinement non assuré (défaut d'isolement de l'enceinte / pas de risque de combustion hydrogène)	• Vidange du GV par APG	⇒ Fermeture GCTa	• confinement sûr (isolement correct de l'enceinte / pas de risque de combustion hydrogène)	Fuite normale <input checked="" type="checkbox"/>		
Doute <input type="checkbox"/>		• IE 2 disponible	• IE 1		Doute <input type="checkbox"/>		
Fuite directe <input checked="" type="checkbox"/>			• IE 2 disponible		Fuite directe <input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> traversée	Evacuation puissance BR	• EAS disponible à l'arrêt / RRI	• EAS disponible à l'arrêt / RRI	Evacuation puissance BR	<input type="checkbox"/> traversée		
<input type="checkbox"/> PTR	• suffisante			• suffisante	<input type="checkbox"/> PTR		
<input checked="" type="checkbox"/> Secondaire					<input type="checkbox"/> Secondaire isolé à ... h ...		
<input type="checkbox"/> Sas matériel					<input type="checkbox"/> Sas matériel		
Fuite vers bâtiments aux. <input type="checkbox"/>					Fuite vers bâtiments aux. <input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> traversée					<input type="checkbox"/> traversée		
<input type="checkbox"/> circuit connecté					<input type="checkbox"/> circuit connecté isolé à ... h ...		
<input type="checkbox"/> sas					<input type="checkbox"/> sas		
Circuit U5 en service <input type="checkbox"/>					Circuit U5 ouvert à ... h ... <input type="checkbox"/>		

4 – Cas H1

Site : Cruas	Tranche : 2	Date : 04/12/01	Heure : 15h30	Visa :	Emetteur : CEI	Destinataire : CD	
FICHE "DIAGNOSTIC – PRONOSTIC" : FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION (RCP FERME)						CAS H1	N° 4
ETAT à ...15...h...00...	DIAGNOSTIC			PRONOSTIC			
Etat des barrières	Etat des fonctions de sûreté	Systèmes utilisés pour le Contrôle des fonctions	Disponibilité à terme des systèmes	Etat à terme des fonctions de sûreté	Etat à terme des barrières		
GAINE - COMBUSTIBLE	Contrôle de la réactivité • faible	• barres de commande • Borication par RCV	• barres de commande • Borication par RCV	Contrôle de la réactivité • confortable	GAINE - COMBUSTIBLE		
Pas de rupture de gaines <input checked="" type="checkbox"/>	Inventaire en eau RCP			Inventaire en eau RCP	Pas de rupture de gaines <input checked="" type="checkbox"/>		
Ruptures de gaines <input type="checkbox"/>	• satisfaisant	• RCV	• RCV (charge)	• satisfaisante	Ruptures de gaines à ... h ... <input type="checkbox"/>		
Fusion <input type="checkbox"/>		• réserves en eau : PTR	• réserves en eau : PTR		Fusion à ... h ... <input type="checkbox"/>		
CIRCUIT PRIMAIRE	Evacuation puissance RCP			Evacuation puissance RCP	CIRCUIT PRIMAIRE		
Intègre <input checked="" type="checkbox"/>	• contrôlée	• GV (ASG + GCT)	• GV (ASG + GCT)	• contrôlée	Intègre <input checked="" type="checkbox"/>		
Doute <input type="checkbox"/>	• suffisante	• réalim bâche ASG en cours		• suffisante	Doute <input type="checkbox"/>		
Brèche primaire <input type="checkbox"/>	Evacuation puissance des joints des GMPP	• RCV (RRI indisponible)	• RCV (RRI indisponible)	Evacuation puissance des joints des GMPP	<input type="checkbox"/> intérieure enceinte		
<input type="checkbox"/> intérieure enceinte	• suffisante			• non nécessaire	<input type="checkbox"/> LDP		
<input type="checkbox"/> LDP					<input type="checkbox"/> Joints des GMPP		
<input type="checkbox"/> Joints des GMPP					<input type="checkbox"/> extérieure enceinte		
<input type="checkbox"/> extérieure enceinte					<input type="checkbox"/> RTGV isolée à ... h ...		
<input type="checkbox"/> RTGV							
ENCEINTE	Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)	• Isolement enceinte phase 1 et 2 disponible	• Isolement enceinte phase 1 et 2 disponible	Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)	ENCEINTE		
Fuite normale <input checked="" type="checkbox"/>	• confinement sûr (isolement correct de l'enceinte / pas de risque de combustion hydrogène)			• confinement sûr (isolement correct de l'enceinte / pas de risque de combustion hydrogène)	Fuite normale <input checked="" type="checkbox"/>		
Doute <input type="checkbox"/>					Doute <input type="checkbox"/>		
Fuite directe <input type="checkbox"/>					Fuite directe <input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> traversée	Evacuation puissance BR	• EAS disponible à l'arrêt / pas de RRI	• EAS disponible à l'arrêt / RRI	Evacuation puissance BR	<input type="checkbox"/> traversée		
<input type="checkbox"/> PTR	• suffisante			• suffisante	<input type="checkbox"/> PTR		
<input type="checkbox"/> Secondaire					<input type="checkbox"/> Secondaire isolé à ... h ...		
<input type="checkbox"/> Sas matériel					<input type="checkbox"/> Sas matériel		
Fuite vers bâtiments aux. <input type="checkbox"/>					Fuite vers bâtiments aux. <input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> traversée					<input type="checkbox"/> traversée		
<input type="checkbox"/> circuit connecté					<input type="checkbox"/> circuit connecté isolé à ... h ...		
<input type="checkbox"/> sas					<input type="checkbox"/> sas		
Circuit U5 en service <input type="checkbox"/>					Circuit U5 ouvert à ... h ... <input type="checkbox"/>		

	METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE 3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG	Page : 63 / 67
		Réf. : D4550.34-12/2967
		Indice : 0

5 – Cas H2

Site : Cruas	Tranche : 2	Date : 04/12/01	Heure : 15h30	Visa :	Emetteur : CEI	Destinataire : CD
--------------	-------------	-----------------	---------------	--------	----------------	-------------------

FICHE "DIAGNOSTIC – PRONOSTIC" :		FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION (RCP FERME)				CAS H2	N° 4
ETAT à ..15..h..00..		DIAGNOSTIC		PRONOSTIC			
Etat des barrières	Etat des fonctions de sûreté	Systèmes utilisés pour le Contrôle des fonctions	Disponibilité à terme des systèmes	Etat à terme des fonctions de sûreté	Etat à terme des barrières		
GAINE - COMBUSTIBLE							
Pas de rupture de gaines	<input checked="" type="checkbox"/>	Contrôle de la réactivité • faible	• barres de commande • Borication par RCV	• barres de commande • Borication par RCV	Contrôle de la réactivité • confortable	GAINE - COMBUSTIBLE	
Ruptures de gaines	<input type="checkbox"/>	Inventaire en eau RCP	• RCV	• IS (ISHP-ISBP) • réserves en eau : PTR puis puisard BR	Inventaire en eau RCP	Pas de rupture de gaines	<input checked="" type="checkbox"/>
Fusion	<input type="checkbox"/>	• satisfaisant	• réserves en eau : PTR		• dégradée	Ruptures de gaines à ... h ...	<input type="checkbox"/>
CIRCUIT PRIMAIRE							
Intègre	<input checked="" type="checkbox"/>	Evacuation puissance RCP	• 6V (CGTa) AS6 indisponible	• 6V indisponible • passage en gavé-ouvert	Evacuation puissance RCP	CIRCUIT PRIMAIRE	
Doute	<input type="checkbox"/>	• contrôlée			• non contrôlée	Intègre	<input type="checkbox"/>
Brèche primaire	<input type="checkbox"/>	• suffisante			• suffisante	Doute	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> intérieure enceinte						Brèche primaire	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> LDP						<input type="checkbox"/> intérieure enceinte	
<input type="checkbox"/> Joints des GMPP		Evacuation puissance des joints des GMPP	• RCV	• RCV	• non nécessaire	<input checked="" type="checkbox"/> LDP ouvertes à 16h30	
<input type="checkbox"/> extérieure enceinte		• suffisante	• RRI	• RRI		<input type="checkbox"/> Joints des GMPP	
<input type="checkbox"/> RTGV						<input type="checkbox"/> extérieure enceinte	
ENCEINTE							
Fuite normale	<input checked="" type="checkbox"/>	Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)	• Isolement enceinte phase 1 et 2 disponible	• Isolement enceinte phase 1 • IE 2 disponible	Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)	ENCEINTE	
Doute	<input type="checkbox"/>	• confinement sûr (isolement correct de l'enceinte / pas de risque de combustion hydrogène)			• confinement sûr (isolement correct de l'enceinte / pas de risque de combustion hydrogène)	Fuite normale	<input checked="" type="checkbox"/>
Fuite directe	<input type="checkbox"/>					Doute	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> traversée						Fuite directe	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> PTR						<input type="checkbox"/> traversée	
<input type="checkbox"/> Secondaire						<input type="checkbox"/> PTR	
<input type="checkbox"/> Sas matériel						<input type="checkbox"/> Secondaire isolé à ... h ...	
Fuite vers bâtiments aux.	<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/> Sas matériel	
<input type="checkbox"/> traversée		Evacuation puissance BR	• EAS disponible à l'arrêt	• EAS	Evacuation puissance BR	Fuite vers bâtiments aux.	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> circuit connecté		• suffisante			• suffisante	<input type="checkbox"/> traversée	
<input type="checkbox"/> sas						<input type="checkbox"/> circuit connecté isolé à ... h ...	
Circuit U5 en service	<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/> sas	
						Circuit U5 ouvert à ... h ...	<input type="checkbox"/>

6 – Cas H3

Site : Cruas	Tranche : 2	Date : 04/12/01	Heure : 15h30	Visa :	Emetteur : CEI	Destinataire : CD
--------------	-------------	-----------------	---------------	--------	----------------	-------------------

FICHE "DIAGNOSTIC – PRONOSTIC" :		FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION (RCP FERME)				CAS H3	N° 4
ETAT à ..15..h..00..		DIAGNOSTIC		PRONOSTIC			
Etat des barrières	Etat des fonctions de sûreté	Systèmes utilisés pour le Contrôle des fonctions	Disponibilité à terme des systèmes	Etat à terme des fonctions de sûreté	Etat à terme des barrières		
GAINE - COMBUSTIBLE							
Pas de rupture de gaines	<input checked="" type="checkbox"/>	Contrôle de la réactivité • faible	• barres de commande • Borication par les joints (6 m3/h)	• barres de commande • Borication par les joints	Contrôle de la réactivité • faible	GAINE - COMBUSTIBLE	
Ruptures de gaines	<input type="checkbox"/>	Inventaire en eau RCP	• RIS11PO (6 m3/h) • réserves en eau : PTR	• RIS11PO (6 m3/h) • réserves en eau : PTR	Inventaire en eau RCP	Pas de rupture de gaines	<input checked="" type="checkbox"/>
Fusion	<input type="checkbox"/>	• satisfaisant			• satisfaisant	Ruptures de gaines à ... h ...	<input type="checkbox"/>
CIRCUIT PRIMAIRE							
Intègre	<input checked="" type="checkbox"/>	Evacuation puissance RCP	• 6V (CGTa+TPS AS6) T 6V > 190°C	• 6V (CGTa+TPS AS6) T 6V > 190°C	Evacuation puissance RCP	CIRCUIT PRIMAIRE	
Doute	<input type="checkbox"/>	• contrôlée			• contrôlée	Intègre	<input checked="" type="checkbox"/>
Brèche primaire	<input type="checkbox"/>	• suffisante			• suffisante	Doute	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> intérieure enceinte						Brèche primaire	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> LDP						<input type="checkbox"/> intérieure enceinte	
<input type="checkbox"/> Joints des GMPP		Evacuation puissance des joints des GMPP	• RIS11PO (RRI indisponible)	• RIS11PO (RRI indisponible)	• suffisante puis non nécessaire	<input type="checkbox"/> LDP ouvertes à ... h ...	
<input type="checkbox"/> extérieure enceinte		• suffisante				<input type="checkbox"/> Joints des GMPP	
<input type="checkbox"/> RTGV						<input type="checkbox"/> extérieure enceinte	
ENCEINTE							
Fuite normale	<input checked="" type="checkbox"/>	Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)	• Défauts d'isolement ; doute sur la disponibilité des IE	• Défauts d'isolement ; doute sur la disponibilité des IE	Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)	ENCEINTE	
Doute	<input type="checkbox"/>	• confinement douteux			• confinement douteux	Fuite normale	<input checked="" type="checkbox"/>
Fuite directe	<input type="checkbox"/>					Doute	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> traversée						Fuite directe	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> PTR						<input type="checkbox"/> traversée	
<input type="checkbox"/> Secondaire						<input type="checkbox"/> PTR	
<input type="checkbox"/> Sas matériel						<input type="checkbox"/> Secondaire isolé à ... h ...	
Fuite vers bâtiments aux.	<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/> Sas matériel	
<input type="checkbox"/> traversée		Evacuation puissance BR	• EAS indisponible	• EAS indisponible	Evacuation puissance BR	Fuite vers bâtiments aux.	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> circuit connecté		• suffisante			• suffisante	<input type="checkbox"/> traversée	
<input type="checkbox"/> sas						<input type="checkbox"/> circuit connecté isolé à ... h ...	
Circuit U5 en service	<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/> sas	
						Circuit U5 ouvert à ... h ...	<input type="checkbox"/>



METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT
UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE
3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG

Page : 64 / 67

Réf. : D4550.34-12/2967

Indice : 0

7 – Cas brèche sans ISBP

Site : Crus	Tranche : 2	Date : 04/12/01	Heure : 15h30	Visa :	Emetteur : CEI	Destinataire : CD
--------------------	--------------------	------------------------	----------------------	--------	-----------------------	--------------------------

FICHE "DIAGNOSTIC – PRONOSTIC" : FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION (RCP FERME) **CAS brèche sans ISBP** N° 4...

EDF / IRSN	DIAGNOSTIC		PRONOSTIC			
	Etat des barrières	Etat des fonctions de sûreté	Systèmes utilisés pour le Contrôle des fonctions	Disponibilité à terme des systèmes	Etat à terme des fonctions de sûreté	Etat à terme des barrières
	GAINE - COMBUSTIBLE	Contrôle de la réactivité • confortable	• barres de commande • Borication par IS	• barres de commande • Borication suffisante (PTR => 2000 ppm)	Contrôle de la réactivité • confortable	GAINE - COMBUSTIBLE
	Pas de rupture de gaines Ruptures de gaines	<input checked="" type="checkbox"/> Inventaire en eau RCP	• IS	• PTR vide => Recirculation => IS indisponible	Inventaire en eau RCP	Pas de rupture de gaines Ruptures de gaines à 17h00
	Fusion	• dégradé	• réserves en eau : PTR		• dénoyage	Fusion à 18h00
	CIRCUIT PRIMAIRE	Evacuation puissance RCP			Evacuation puissance RCP	CIRCUIT PRIMAIRE
	Intègre	<input type="checkbox"/>	• GV (ASG + GCT)	• GV (ASG + GCT)	• non contrôlée	Intègre
	Doute	<input checked="" type="checkbox"/>	• brèche + IS	• brèche	• suffisante	Doute
	Brèche primaire	<input checked="" type="checkbox"/>				Brèche primaire
	<input checked="" type="checkbox"/> intérieure enceinte					<input checked="" type="checkbox"/> intérieure enceinte
	<input type="checkbox"/> LDP					<input checked="" type="checkbox"/> LDP ouvertes à 16h30
	<input type="checkbox"/> Joints des GMPP					<input type="checkbox"/> Joints des GMPP
	<input type="checkbox"/> extérieure enceinte					<input type="checkbox"/> extérieure enceinte
	<input type="checkbox"/> RTGV					<input type="checkbox"/> RTGV isolée à ... h ...
	ENCEINTE	Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)			Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)	ENCEINTE
	Fuite normale	<input checked="" type="checkbox"/>	• confinement sûr (isolement correct de l'enceinte / pas de risque de combustion hydrogène)	• Isolement enceinte phase 1 et 2	• confinement sûr (isolement correct de l'enceinte / risque de combustion hydrogène)	Fuite normale
	Doute	<input type="checkbox"/>				Doute
	Fuite directe	<input type="checkbox"/>				Fuite directe
	<input type="checkbox"/> traversée					<input type="checkbox"/> traversée
	<input type="checkbox"/> PTR					<input type="checkbox"/> PTR
	<input type="checkbox"/> Secondaire					<input type="checkbox"/> Secondaire isolé à ... h ...
	<input type="checkbox"/> Sas matériel					<input type="checkbox"/> Sas matériel
	Fuite vers bâtiments aux.	<input type="checkbox"/>				Fuite vers bâtiments aux.
	<input type="checkbox"/> traversée					<input type="checkbox"/> traversée
	<input type="checkbox"/> circuit connecté					<input type="checkbox"/> circuit connecté isolé à ... h ...
	<input type="checkbox"/> sas					<input type="checkbox"/> sas
	Circuit U5 en service	<input type="checkbox"/>	• EAS	• EAS	• suffisante	Circuit U5 ouvert à ... h ...

8 – Cas brèche sans EAS

Site : Paluel	Tranche : 2	Date : 04/12/01	Heure : 15h30	Visa :	Emetteur : CEI	Destinataire : CD
----------------------	--------------------	------------------------	----------------------	--------	-----------------------	--------------------------

FICHE "DIAGNOSTIC – PRONOSTIC" : FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION (RCP FERME) **CAS brèche sans EAS** N° 4...

EDF / IRSN	DIAGNOSTIC		PRONOSTIC			
	Etat des barrières	Etat des fonctions de sûreté	Systèmes utilisés pour le Contrôle des fonctions	Disponibilité à terme des systèmes	Etat à terme des fonctions de sûreté	Etat à terme des barrières
	GAINE - COMBUSTIBLE	Contrôle de la réactivité • confortable	• barres de commande • Borication par IS	• barres de commande • Borication suffisante (PTR => 2000 ppm)	Contrôle de la réactivité • confortable	GAINE - COMBUSTIBLE
	Pas de rupture de gaines Ruptures de gaines	<input checked="" type="checkbox"/> Inventaire en eau RCP	• IS	• Augmentation T piscards => perte de l'IS	Inventaire en eau RCP	Pas de rupture de gaines Ruptures de gaines à 17h00
	Fusion	• dégradé	• réserves en eau : PTR		• dénoyage	Fusion à 18h00
	CIRCUIT PRIMAIRE	Evacuation puissance RCP			Evacuation puissance RCP	CIRCUIT PRIMAIRE
	Intègre	<input type="checkbox"/>	• GV (ASG + GCT)	• GV (ASG + GCT)	• non contrôlée	Intègre
	Doute	<input checked="" type="checkbox"/>	• brèche + IS	• brèches	• suffisante	Doute
	Brèche primaire	<input checked="" type="checkbox"/>				Brèche primaire
	<input checked="" type="checkbox"/> intérieure enceinte					<input checked="" type="checkbox"/> intérieure enceinte
	<input type="checkbox"/> LDP					<input checked="" type="checkbox"/> LDP ouvertes à 16h30
	<input type="checkbox"/> Joints des GMPP					<input type="checkbox"/> Joints des GMPP
	<input type="checkbox"/> extérieure enceinte					<input type="checkbox"/> extérieure enceinte
	<input type="checkbox"/> RTGV					<input type="checkbox"/> RTGV isolée à ... h ...
	ENCEINTE	Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)			Confinement (efficacité systèmes d'isolement, efficacité du système EDE, contrôle composition atmosphère)	ENCEINTE
	Fuite normale	<input checked="" type="checkbox"/>	• confinement sûr (isolement correct de l'enceinte / confinement dynamique correct / pas de production d'H2)	• Isolement enceinte phase 1 et 2	• confinement sûr (isolement correct de l'enceinte / confinement dynamique correct / pas de production d'H2)	Fuite normale
	Doute	<input type="checkbox"/>				Doute
	Fuite directe	<input type="checkbox"/>				Fuite directe
	<input type="checkbox"/> traversée					<input type="checkbox"/> traversée
	<input type="checkbox"/> PTR					<input type="checkbox"/> PTR
	<input type="checkbox"/> Secondaire					<input type="checkbox"/> Secondaire isolé à ... h ...
	<input type="checkbox"/> Sas matériel					<input type="checkbox"/> Sas matériel
	Fuite vers bâtiments aux.	<input type="checkbox"/>				Fuite vers bâtiments aux.
	<input type="checkbox"/> traversée					<input type="checkbox"/> traversée
	<input type="checkbox"/> circuit connecté					<input type="checkbox"/> circuit connecté isolé à ... h ...
	<input type="checkbox"/> sas					<input type="checkbox"/> sas
	Circuit U5 en service	<input type="checkbox"/>	• EAS indisponible	• EAS indisponible	• non suffisante	Circuit U5 ouvert à ... h ...



METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT
UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE
3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG

Page : 65 / 67

Réf. : D4550.34-12/2967

Indice : 0

ANNEXE 6



METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT
UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE
3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG

Page : 66 / 67

Réf. : D4550.34-12/2967

Indice : 0

Tableau récapitulatif donnant les taux de défaillance en fonctionnement des principaux matériels de sauvegarde du palier 900 MWe.

A titre indicatif, probabilité retenue par l'IRSN pour déterminer l'occurrence des aggravants (issues de la note 3D/3P IRSN [2]).

Famille	Taux de défaillance en fonctionnement
Alternateur de groupe	$2 \cdot 10^{-5}/h$
Alternateur type LLS	$4.2 \cdot 10^{-4}/h$
Compresseur à piston SAP	$3.7 \cdot 10^{-5}/h$
Compresseur centrifuge pour SAP	$9 \cdot 10^{-5}/h$
Groupe électrogène diesel	$1.7 \cdot 10^{-3}/h$
Ilotage	$1 \cdot 10^{-1}/h$
Ligne aérienne auxiliaire	$1.5 \cdot 10^{-5}/h$
Ligne aérienne principale 400 KV	$3.5 \cdot 10^{-5}/h$
Onduleur 220V sur LN	$1.2 \cdot 10^{-5}/h$
Pompe ASG	$1.3 \cdot 10^{-4}/h$
Pompe de test	$1.8 \cdot 10^{-4}/h$
Pompe ISBP-EAS	$2.5 \cdot 10^{-5}/h$
Pompe PTR	$1.2 \cdot 10^{-5}/h$
Pompe PUI	$2 \cdot 10^{-4}/h$
Pompe RCV	$2.8 \cdot 10^{-5}/h$
Pompe REA	$3 \cdot 10^{-5}/h$
Pompe RRA	$1.4 \cdot 10^{-5}/h$
Pompe RRI	$8.8 \cdot 10^{-6}/h$
Tableau 6,6 KV	$4.2 \cdot 10^{-7}/h$
Turbine à combustion (TAC)	$2.1 \cdot 10^{-2}/h$
Turbine LLS	$3.6 \cdot 10^{-3}/h$
Ventilateur centrifuge	$2.4 \cdot 10^{-5}/h$
Ventilateur hélicoïde (DVS)	$1.5 \cdot 10^{-6}/h$



METHODES D'EXPERTISE D'UN ACCIDENT AFFECTANT
UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE
3D/3P RÉNOVÉ ET D/P AG

Page : 67 / 67

Réf. : D4550.34-12/2967

Indice : 0

Tableau récapitulatif donnant les taux de défaillance en fonctionnement des principaux matériels de sauvegarde du palier 1300 MWe.

A titre indicatif, probabilité retenue par l'IRSN pour déterminer l'occurrence des aggravants (issues de la note 3D/3P IRSN [2]).

Famille	Taux de défaillance en fonctionnement
Alternateur de groupe	$1.5 \cdot 10^{-4}/h$
Alternateur type LLS	$3.4 \cdot 10^{-3}/h$
Compresseur à piston SAP	$3.7 \cdot 10^{-5}/h$
Compresseur centrifuge pour SAP	$9.0 \cdot 10^{-5}/h$
Groupe électrogène diesel	$2.1 \cdot 10^{-5}/h$
Ligne aérienne auxiliaire	$5.4 \cdot 10^{-5}/h$
Ligne aérienne principale 400 KV	$2.0 \cdot 10^{-5}/h$
Onduleur 220V sur LN	$1.2 \cdot 10^{-5}/h$ (valeur 900 MWe)
Pompe ASG	$1.4 \cdot 10^{-4}/h$
Pompe de test	$6.3 \cdot 10^{-5}/h$
Pompe ISBP-EAS	$2.5 \cdot 10^{-5}/h$
Pompe ISMP	$8.8 \cdot 10^{-5}/h$
Pompe PTR	$1.2 \cdot 10^{-5}/h$
Pompe PUI	$2.0 \cdot 10^{-4}/h$
Pompe RCV	$2.5 \cdot 10^{-5}/h$
Pompe REA bore	$3.0 \cdot 10^{-5}/h$ (valeur 900 MWe)
Pompe REA eau	$7.7 \cdot 10^{-6}/h$
Pompe RRA	$1.2 \cdot 10^{-5}/h$
Pompe RRI	$1.9 \cdot 10^{-6}/h$
Pompe SEC	$7.0 \cdot 10^{-6}/h$
Tableau 6,6 KV	$4.2 \cdot 10^{-7}/h$
Turbine à combustion (TAC)	$2.1 \cdot 10^{-2}/h$ (AMAN) - $4.0 \cdot 10^{-2}/h$ (HISPANO SUIZA)
Turbine LLS	$1.0 \cdot 10^{-2}/h$
Transformateur auxiliaire	$2.6 \cdot 10^{-6}/h$
Transformateur principal	$1.2 \cdot 10^{-6}/h$