



DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE

SERVICE ÉTUDES ET PROJETS
THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

Diffusé le : Voir code barres ci-dessus

Réf. : ENTEAG080403 A

Entité émettrice : **Transfert Environnement Radioprotection**

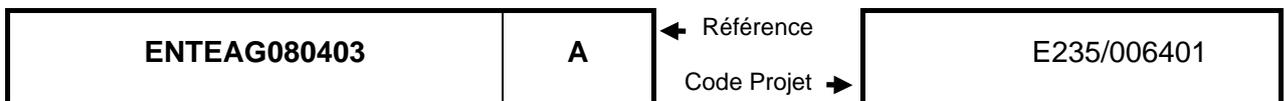
Rédacteur : **Rozel C.**

Nbre de pages : 31

Domaine d'application : **REP**

Nbre d'annexes : 3

Titre : **Recueil d'hypothèses fonctionnelles pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**



Type de document : **Note d'étude**

Mots clés : Accident Grave, Terme Source, Taux de Fuite Enceinte, Ventilation, Filtration

Résumé : Cette note rassemble les hypothèses fonctionnelles à retenir pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en accident grave, pour tous les paliers (y compris EPR FA3) : taux de fuite enceinte et répartition des fuites enceinte, ventilation des bâtiments périphériques et de l'espace entre enceintes (sauf pour le 900), efficacités des filtrations.

Rédacteur		Vérificateur		Approbateur			
Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa	Chef d'entité		Chef de rang supérieur	
Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa
Rozel C. 28/05/2009		Dagusé T. 05/06/2009		Carré M. 08/06/2009			

Evolutions des trois derniers indices

Cocher s'il y a changement de méthodologie
Cocher ici s'il y a évolution des données amont

Indice	Date d'approbation	Motif du changement d'indice	Modifications apportées		
A		Première diffusion			

Archivage long : OUI	Archivé au FDU : OUI	Copyright EDF 2009
Livrable principal : NON		
<input type="checkbox"/> Confidentiel	: L'initiateur établit une liste nominative des destinataires. Chacun d'eux reçoit un exemplaire numéroté et ne peut étendre la diffusion sans l'accord de l'initiateur.	
<input type="checkbox"/> Dif. Restreinte	: L'initiateur établit une liste explicite des destinataires. Le chef de service d'un destinataire peut étendre la diffusion sous sa responsabilité et dans sa Direction (sur la base d'une liste explicite).	
<input checked="" type="checkbox"/> Accès E.D.F	: Ne peut être transmis à l'extérieur d'EDF que par un chef de service.	
<input type="checkbox"/> Accès libre	: Document public.	

SEPTEN

EDF SEPTEN	Note d'étude ENTEAG080403		Indice A	Page 2/31
Recueil d'hypothèses fonctionnelles pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves				
FICHE DE GESTION				
Important pour la sûreté (IPS)		OUI <input checked="" type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>	
Cette note modifie ou exprime une exigence de Sûreté, de Radioprotection ou d'Environnement ? :				
		OUI <input type="checkbox"/>	NON <input checked="" type="checkbox"/>	
Appliquer le processus O4a				
Document HPIC :			OUI <input type="checkbox"/>	NON <input checked="" type="checkbox"/>
Vérification	demandée	OUI <input type="checkbox"/>	Par EDF	<input type="checkbox"/>
Indépendante		NON <input checked="" type="checkbox"/>	Hors EDF	<input type="checkbox"/>
			En ligne	<input type="checkbox"/>
			En différé	<input type="checkbox"/>
			En cours	<input type="checkbox"/>
			Effectuée	<input type="checkbox"/>
Responsable vérification (NOM, SERVICE / SOCIÉTÉ) :				
Prédiffusion du présent indice :			OUI <input checked="" type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
Auprès de : GS-IN : S. Guieu SN : M.-H. Boschiero, A. Dubreuil-Chambardel TE-AG : F. Andréo, N. Bouteille, G. Fleury, M. Acalet CNEN : S. Bachère, P.-Y. Musellec, C. Chevallier, C. Jomard CIPN-IS : S. Biz, P-E. Salignat GS-GC : D. Crémieux, P. Bécue SN-DR : P. Mazet				
Existe-t-il un dossier d'étude associé à la note à cet indice ? :			OUI <input checked="" type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
Contrôle linguistique renforcé :			OUI <input type="checkbox"/>	NON <input checked="" type="checkbox"/>

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

SYNTHÈSE

Le présent document rassemble les hypothèses fonctionnelles à utiliser pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en accident grave pour tous les REP, y compris EPR Flamanville.

Les hypothèses fonctionnelles définies sont les suivantes :

- Taux de fuite de l'enceinte,
- Répartition des fuites de l'enceinte,
- Fonctionnement de la ventilation et taux de fuite de l'espace entre enceintes (pour les enceintes doubles),
- Fonctionnement des ventilations et taux de fuite des bâtiments auxiliaires,
- Efficacité des filtrations.

Les hypothèses retenues pour le calcul des rejets dans l'environnement en accident grave sont synthétisées dans le tableau ci-après.

Les hypothèses sont en général réalistes. Lorsque des hypothèses découplées sont retenues, elles sont indiquées en gras.

Hypothèses fonctionnelles	900 Mwe (CPY)	1300-1450 Mwe (P'4)	EPR
Taux de fuite de l'enceinte interne aux conditions d'APRP	0,3% masse des gaz contenus dans l'enceinte/jour	Variable selon la tranche (voir tableau)	0,3% masse des gaz contenus dans l'enceinte/jour
Fuites collectées vers l'EEE	Sans objet	Variable selon la pression (voir tableau),	40%, soit 0,12% masse des gaz contenus dans l'enceinte/jour
Fuites collectées vers les bâtiments périphériques	86%, soit 0,258% masse des gaz contenus dans l'enceinte/jour	0,138% masse des gaz contenus dans l'enceinte/jour	60%, soit 0,18% masse des gaz contenus dans l'enceinte/jour
Fuites vers l'environnement (non collectées)	14%, soit 0,042% masse des gaz contenus dans l'enceinte/jour	0,012% masse des gaz contenus dans l'enceinte/jour	0
Ventilation EEE maximale	Sans objet	750 m³/h	300 m³/h
Répartition fuites si ventilation des BP en fonctionnement	22% DVN (18800 m ³ /h) 68% DVK-DVW (15600 m ³ /h) 10% fuites non reprises	62% DVN (25000 m ³ /h) 28% DVK-DVS (14969 m ³ /h) 10% fuites non reprises	100% EBA petit débit-DWL- (8400 m ³ /h)
Taux de fuite des BP sans ventilation	5% vol/h		0,5 vol/j (soit 2,1% vol/h)
Coefficient Epuration Filtration THE	1000		
Coefficient Epuration piège à iode I2	1000 ou 100 selon le système de ventilation (1 en l'absence de réchauffeurs)		
Coefficient Epuration piège à iode ICH3	100 ou 10 selon le système de ventilation (1 en l'absence de réchauffeurs)		
Coefficient Epuration Dispositif U5	Aérosols : Préfiltre : 10 (sans ICB), 33 (en ICB) / Filtre : 100 I2 : 10		Sans objet

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves****SOMMAIRE**

1. Références	7
1.1 Références pour les taux de fuite enceinte et la répartition des fuites	7
1.2 Références pour la ventilation et les taux de fuite des bâtiments auxiliaires	7
1.3 Références pour l'efficacité des filtrations	8
2. Introduction	9
3. Taux de fuite de l'enceinte et répartition des fuites de l'enceinte	10
3.1 Evolution du débit de fuite d'une enceinte en fonction de la pression	11
3.2 Taux de fuite enceinte des réacteurs 900 MWe	11
3.2.1 Taux de fuite global	12
3.2.2 Répartition des fuites	13
3.2.3 Hypothèses retenues.....	13
3.3 Taux de fuite enceinte des réacteurs 1300 MWe et 1450 MWe (P4, P'4, N4)	13
3.3.1 Etat des lieux des fuites par le béton des enceintes à double paroi	13
3.3.2 Hypothèses retenues.....	15
3.4 Taux de fuite enceinte de EPR Flamanville 3	16
3.4.1 Taux de fuite global	16
3.4.2 Répartition des fuites	16
3.4.3 Hypothèses retenues.....	17
4. Ventilation et taux de fuite de l'espace entre enceintes (hors palier 900 MWe).....	18
4.1 Ventilation de l'EEE des réacteurs 1300 MWe et 1450 MWe	18
4.1.1 Système de ventilation en service	18
4.1.2 Système de ventilation hors service.....	18
4.2 Ventilation de l'EEE de EPR Flamanville 3	18
5. Ventilation et taux de fuite des bâtiments périphériques	19
5.1 Ventilation des bâtiments périphériques des réacteurs 900 MWe - Palier CPY	19
5.1.1 Répartition des fuites dans les bâtiments périphériques - Palier CPY.....	19
5.1.2 Volumes des bâtiments périphériques - Palier CPY.....	20
5.1.3 Fonctionnement des systèmes de ventilation – Palier CPY	20
5.1.4 Hypothèses retenues pour les bâtiments périphériques – Palier CPY.....	21

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

5.2 Ventilation des bâtiments périphériques des réacteurs 1300 MWe et 1450 MWe.....	22
5.2.1 Répartition des fuites dans les bâtiments périphériques - Palier P'4.....	22
5.2.2 Volumes des bâtiments périphériques - Palier P'4.....	23
5.2.3 Fonctionnement des systèmes de ventilation – Palier P'4	23
5.2.4 Hypothèses retenues pour les bâtiments périphériques – Palier P'4.....	24
5.3 Ventilation des bâtiments périphériques de EPR Flamanville 3.....	25
5.3.1 Système de ventilation en service	25
5.3.2 Système de ventilation hors service.....	25
6. Efficacité des filtrations	26
6.1 Terminologie.....	26
6.2 Coefficients d'épuration	26
7. Conclusion	27
Annexe 1. Pressions et températures – Volumes enceinte.....	28
Annexe 2. Calcul de la masse de gaz dans l'enceinte.....	29
Annexe 3. Lois d'évolution des fuites en fonction de la pression.....	31

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves****Abréviations**

AG : Accident Grave

APRP : Accident de Perte du Réfrigérant Primaire

BAN : Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires

BAS : Bâtiment des Auxiliaires de Sauvegarde (à partir du 1300 MWe)

BK : Bâtiment Combustible

BP : Bâtiments Périphériques

BR : Bâtiment Réacteur

BW : Bâtiment électrique, Bâtiment de liaison (900 MWe)

DAC : Décret d'Autorisation de Création

DSE : Dossier de Système Élémentaire

DVC : Conditionnement de la salle de commande et des locaux annexes

DVH : Circuit de ventilation de secours des locaux des pompes de charge et d'extraction de fumées (P4 P'4 N4)

DVK : Circuit de Ventilation du Bâtiment Combustible

DVN : Circuit de Ventilation générale du Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires

DVQ : Ventilation du Bâtiment de Traitement des Effluents

DVS : Circuit de ventilation des locaux RIS-EAS (P4 P'4 N4)

DVW : Circuit d'extraction d'air des zones des traversées des locaux périphériques (CPY)

DWL : Ventilation des ZC des 4 BAS (EPR)

EBA petit débit : Ventilation du BK (EPR)

EDE : Circuit de Mise en dépression de l'espace entre enceintes (P4 P'4 N4 EPR)

EDP : Enceinte à Double Paroi

EEE : Espace Entre Enceintes (P4 P'4 N4 EPR)

ETY : Circuit de contrôle de la teneur en hydrogène et de surveillance atmosphérique de l'enceinte (CPY P4 P'4 N4)

EVU : EVacuation Ultime de la Puissance de l'Enceinte (EPR)

ICB : Interaction Corium Béton

TAM : Tampon de l'Accès des Matériels

TEG : Circuit de Traitement des Effluents Gazeux

THE : Très Haute Efficacité

ZC : Zone Contrôlée

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves****1. Références****1.1 Références pour les taux de fuite enceinte et la répartition des fuites**

- [1] Décrets d'autorisation de création des installations nucléaires de base parus au Journal Officiel de la République Française
- [2] Rapport préliminaire de Sûreté de Flamanville 3 – Section 6.2.1 – Fonction Confinement de l'enceinte
- [3] Evaluation du débit de fuite des Enceintes à Double Paroi en Accident Grave
Note d'étude EDF SEPTEN ENGSGC060438 ind. B. du 06/03/2008 – D. Crémieux
- [4] Taux de fuite réaliste d'une enceinte de confinement – Fuite collectée/fuite non collectée
Note d'étude EDF SEPTEN ENSGC92025 ind. A du 31/07/1992 – G. Ithurralde
- [5] Estimation et répartition des fuites par les traversées en situation d'A.G. – Palier CPY
Note d'étude EDF SEPTEN ENGSGC060126 ind. A du 24/03/2006 – P. Becue
- [6] Estimation et répartition des fuites par les traversées des enceintes de type P4 en situation d'AG
Note d'étude EDF SEPTEN ENGSGC070171 ind. A du 14/08/2007 – P. Becue
- [7] Enceinte double – Fuite directe – Equivalence entre conditions d'APRP et conditions d'essais
Note technique EDF REC ERECGC84013 ind. A du 16/03/1984
- [8] Rapport définitif de Sûreté VD2 pour le palier 900 MWe
- [9] Fiche de synthèse de réponse à l'AS concernant la répartition des fuites de l'enceinte de l'EPR
Fiche de synthèse EDF SEPTEN ENSN080080 du 27/06/2008 – MH. Boschiero
- [10] Palier 1300 P4 - Enceinte de confinement Hypothèses concernant les fuites des enceintes à considérer pour le calcul des conséquences radiologiques d'un APRP
Note EDF REC GCPA81207B du 12/04/1984 - Chevasson Delacotte
- [11] Palier 1300 P'4 - Enceinte de confinement Hypothèses concernant les fuites des enceintes à considérer pour le calcul des conséquences radiologiques d'un APRP
Note EDF REAM EREAMM183037B du 04/07/1984 - Jeune Gossiaux
- [12] N4 - Taux de fuites des enceintes en situation d'APRP et d'essais
Note EDF REC ERECGC88012A du 29/06/1988 - Ithurbide

1.2 Références pour la ventilation et les taux de fuite des bâtiments auxiliaires

- [13] Relâchement de produits de fission dans l'environnement en cas d'accident affectant un REP en l'absence de ventilation dans les bâtiments auxiliaires
Note technique IRSN DPEA/SECRI/03-26 Version 0 du 02/06/2003 – V. Crutel
- [14] Gestion des systèmes de ventilation en situation accidentelle en cas de défaillance d'un élément filtrant. Action GGAG n°21.11
Fiche technique n°2004-78 (septembre 2004), V. Crutel, B. Duneau, transmis par courrier DEISESUC2004401 du 14/12/2004
- [15] Description multi-fonctionnelle des systèmes de ventilation vis-à-vis du confinement en situation accidentelle
Note d'étude EDF CNEN ECEF080346A du 08/04/2008 – E. Thiberge

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves****1.3 Références pour l'efficacité des filtrations**

- [16] Calcul des rejets et de leurs conséquences dans l'environnement : synthèse des hypothèses utilisées par les équipes de crise
Fiche de synthèse GGAG n°29 (Version 2) – Janvier 1999 – S. Guieu
- [17] Contrôle des filtres à Très Haute Efficacité (THE) des circuits de ventilation I.P.S. des centrales REP
Note de doctrine EDF DSRE D581-SRE/EV-90/841 ind. 2 du 13/10/1994 – JC. Pere/
S. Renier
- [18] Contrôle des pièges à iode des circuits IPS des centrales REP
Note de doctrine EDF DSRE D4002-44/94-021/AAC ind. 0 du 17/10/1994 – JC. Pere/
S. Renier
- [19] Hypothèses de calcul des conséquences radiologiques des accidents de dimensionnement.
Analyse du rôle potentiel des circuits de ventilation des bâtiments auxiliaires vis à vis de la filtration des rejets radioactifs – CPY – P4 – P'4 – N4
Note d'étude EDF SEPTEN ENFPIN0100177 ind. A du 04/04/2001 – C. Cherbonnel
- [20] Rapport préliminaire de Sûreté de Flamanville 3 – Section 15.3 p18– Rendement des filtres

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves****2. Introduction**

Le présent document définit les hypothèses fonctionnelles à utiliser pour le calcul des rejets dans l'environnement en accident grave pour tous les REP, y compris EPR Flamanville.

Il s'agit de passer en revue les différentes hypothèses fonctionnelles utilisées actuellement dans les différentes évaluations de calcul des rejets dans l'environnement, de tracer leur origine et le cas échéant de les consolider.

Les hypothèses fonctionnelles listées sont les suivantes :

- Taux de fuite de l'enceinte,
- Répartition des fuites de l'enceinte,
- Fonctionnement de la ventilation et taux de fuite de l'espace entre enceintes (sauf pour le 900 MWe),
- Fonctionnement des ventilations et taux de fuite des bâtiments auxiliaires,
- Efficacité des filtrations.

Le jeu d'hypothèses est utilisé pour les évaluations des rejets dans l'environnement en situation d'accident grave. Il se doit donc d'être réaliste. Cependant, dans certains cas, des pénalisations sont prises, ce qui induit par conséquent des marges sur l'évaluation des rejets dans l'environnement. Ces pénalisations sont mises en relief dans la suite du document.

Cette note pourra être amenée à évoluer sur certains points en particulier sur l'EPR Flamanville pour lequel les hypothèses de conception ne sont pas toutes arrêtées, ou sur des domaines évolutifs comme l'évaluation des taux de fuite des enceintes à double paroi P4, P'4 et N4.

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves****3. Taux de fuite de l'enceinte et répartition des fuites de l'enceinte**

D'une manière générale, l'enceinte de confinement est conçue de manière à être la plus étanche possible. Cependant, on constate que des fuites sont mises en évidence :

- fuites par les traversées de l'enceinte,
- fuites par les parois de l'enceinte (paroi revêtue ou non d'un liner métallique).

Ces différentes fuites peuvent être :

- non collectées, c'est-à-dire qu'elles sont rejetées directement à l'environnement ; dans ce document, on les désignera également par "fuites directes" ;
- collectées, c'est-à-dire qu'elles transitent par d'autres bâtiments et/ou qu'elles sont reprises par un système de ventilation / filtration. Si elles sont reprises par un système de filtration, elles sont "collectées-filtrées".

Les schémas ci-après présentent les différents types de fuite rencontrés sur les réacteurs type 900 MWe (enceinte à simple paroi) et sur les réacteurs de type 1300 MWe (enceinte à double paroi).

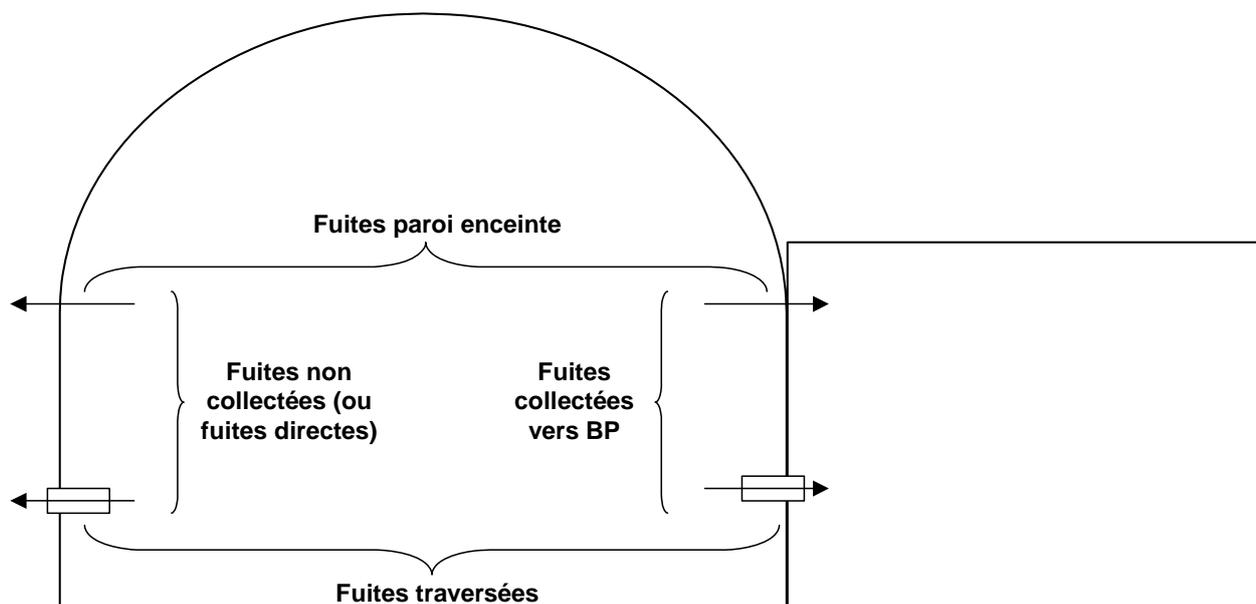


Schéma : Fuites sur les enceintes à simple paroi (type 900 MWe)

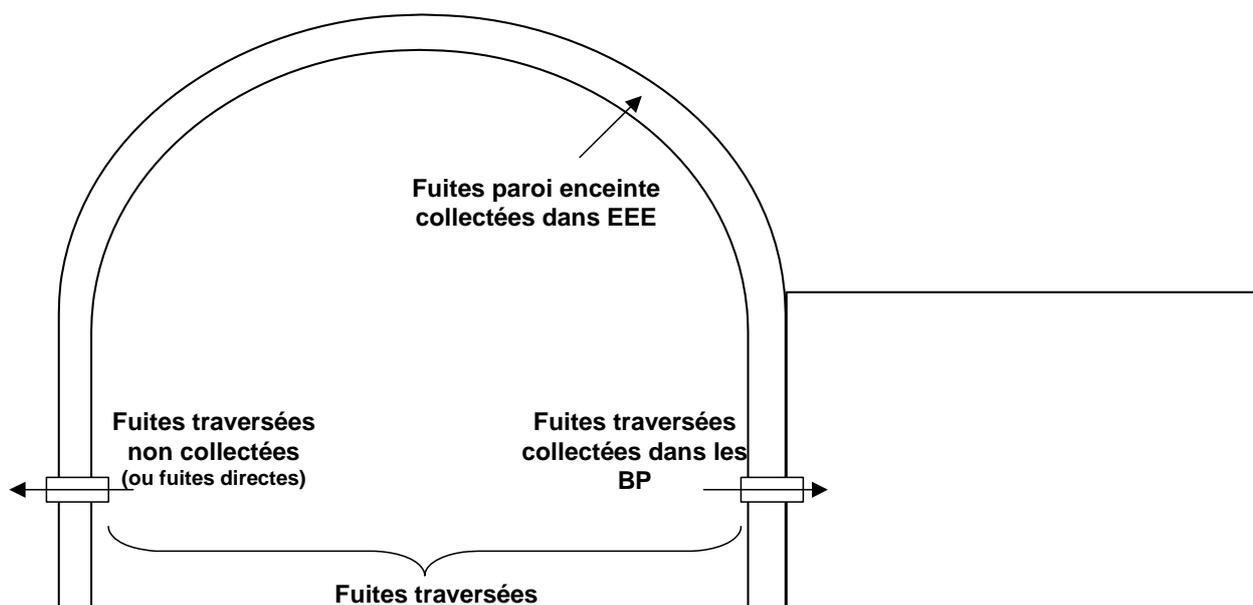
**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

Schéma : Fuites sur les enceintes à double paroi (type 1300 MWe)

Les taux de fuite et la répartition des fuites sont variables en fonction de la pression régnant dans l'enceinte, mais également en fonction de la configuration de la tranche : enceinte revêtue d'un liner ou non, présence d'une double enceinte, nombre de traversées débouchant directement à l'extérieur... On notera également que le taux de fuite peut augmenter avec le temps suite par exemple à la dégradation de joints sous l'effet de l'irradiation. Cette augmentation temporelle du taux de fuite n'est pas prise en compte ici, la grande part des produits de fission étant rejetée sur des durées courtes (de l'ordre de 1 à 2 jours).

Dans les paragraphes qui suivent, il est à noter que la répartition des fuites est valable à une pression donnée (en général la pression de dimensionnement).

3.1 Evolution du débit de fuite d'une enceinte en fonction de la pression

Les débits de fuite sont variables en fonction de la pression régnant dans l'enceinte et à l'extérieur, selon différentes lois d'écoulement, parmi lesquelles :

- Pour les parois sans peau d'étanchéité : loi d'écoulement laminaire au travers du béton.
- Pour les organes d'isolement : loi d'écoulement turbulent en milieu rugueux de type Nikuradze.

Ces lois sont présentées en Annexe 3.

On notera que les traversées ont un fonctionnement de type "autoclave" : plus la pression augmente, moins la fuite augmente rapidement, alors que les parois béton ont un fonctionnement inverse : plus la pression augmente, plus la fuite augmente vite.

3.2 Taux de fuite enceinte des réacteurs 900 MWe

Les enceintes des 34 réacteurs EDF de type 900 MWe sont constituées d'une paroi en béton précontraint dans laquelle est ancrée une peau métallique de 6 mm assurant l'étanchéité. On parle d'Enceinte à Simple Paroi.

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

Les fuites potentielles au travers de ce type d'enceinte se trouvent au niveau des traversées et dans une moindre mesure au travers de la paroi métallique. On peut dans un souci de simplification utiliser pour l'estimation de la variation du débit de fuite en fonction de la pression la loi de Nikuradze qui est conservatrice [4].

3.2.1 Taux de fuite global

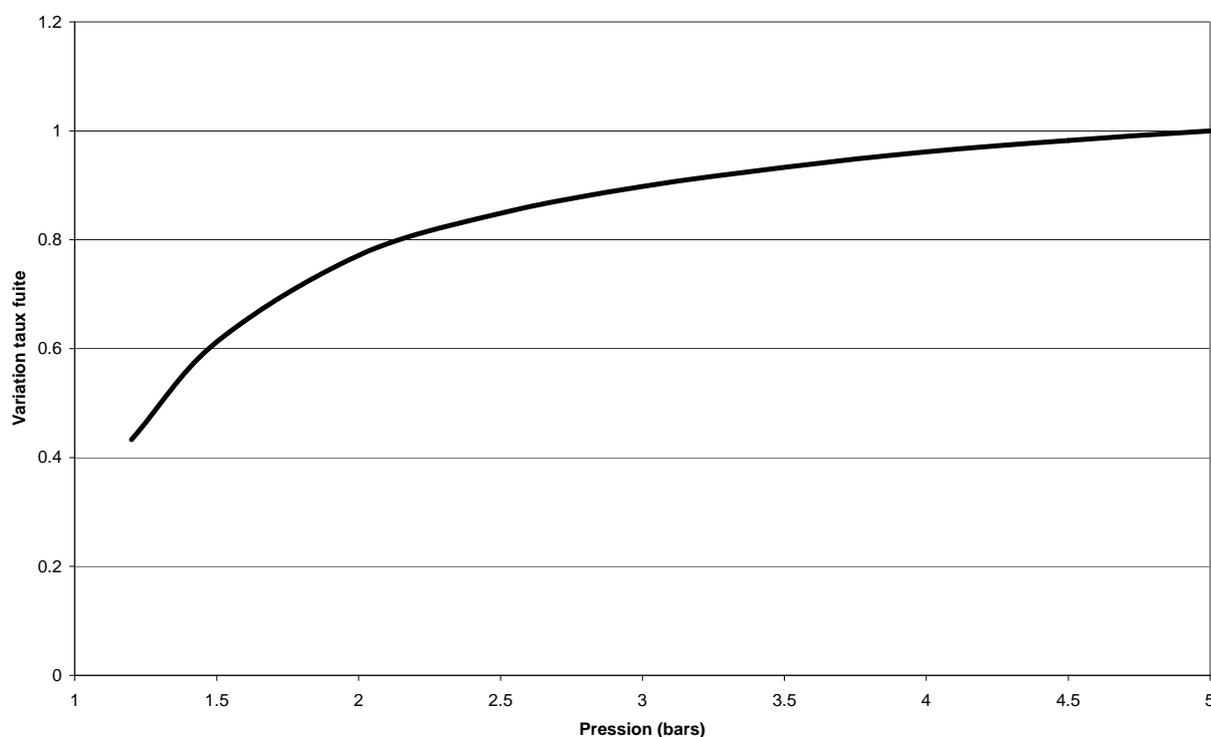
Pour les réacteurs 900 MWe, les Décrets d'Autorisation de Création (DAC) [1] limitent le taux de fuite global de l'enceinte de confinement à **0,3 % par jour de la masse des gaz contenus dans l'enceinte aux conditions d'APRP**.

On notera que les fuites réelles sont plus faibles (les valeurs de fuites aux traversées fournies dans le document [5] sont de l'ordre de 13 Nm³/h soit de l'ordre de 60% du critère DAC [5]).

Ce taux de fuite est valable dans des conditions thermodynamiques spécifiques, à savoir les conditions de dimensionnement (pression de 4,85 bars, température de 185°C).

Les conditions thermodynamiques sont évolutives au cours d'un scénario accidentel. Pour transposer le taux de fuite à d'autres conditions (P,T) dans les calculs, la loi d'écoulement de Nikuradze peut être utilisée, que ce soit pour les fuites collectées ou non-collectées [4].

A titre d'exemple, l'allure de la variation du taux de fuite en fonction de la pression est la suivante :



On constate que la variation du taux de fuite en fonction de la pression est relativement faible lorsque la pression est supérieure à 2,5 bars.

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

3.2.2 Répartition des fuites

Selon les critères d'étanchéité, la répartition des fuites de l'enceinte est la suivante : 60% de fuites au maximum par les organes d'isolement, 40% de fuites par la peau d'étanchéité.

Or, une partie des fuites par la peau et une partie des fuites par les traversées sont collectées (fuites qui transitent par les bâtiments périphériques), les autres sont non collectées (fuites directes à l'environnement).

La répartition des fuites collectées/non collectées a été déterminée dans [4] à partir des périmètres de tuyauteries, des linéaires de joint et des taux de fiabilité des dispositifs d'étanchéité enceinte. Elle est reprise dans le Rapport Définitif de Sûreté VD2 pour le palier 900 MWe [8]. Elle est la suivante, aux conditions d'APRP (en l'absence d'autres éléments, on fera l'hypothèse que cette répartition est valable quelle que soit la pression) :

- 14 % de fuites (soit 0,042% masse/jour sous 5 bars) vers l'environnement (fuites non collectées),
- 86 % de fuites (soit 0,258%masse /jour sous 5 bars) vers les bâtiments périphériques (fuites collectées).

3.2.3 Hypothèses retenues

Pour les calculs de terme source pour le palier 900 MWe, on utilise l'hypothèse de découplage suivante : le taux de fuite DAC, soit 0,3% masse/jour (sauf étude spécifique pour laquelle on utilise la variation réelle de pression).

Le tableau ci-après récapitule la répartition des fuites :

900 MWe	Fuites collectées dans les bâtiments périphériques : 86 %	Fuites non collectées (fuites vers l'environnement) : 14%
Fuites paroi : 40 %	Fuites parois collectées	Fuites parois non collectées
Fuites traversées : 60 %	Fuites traversées collectées	Fuites traversées non collectées

3.3 Taux de fuite enceinte des réacteurs 1300 MWe et 1450 MWe (P4, P'4, N4)

3.3.1 Etat des lieux des fuites par le béton des enceintes à double paroi

Le confinement des réacteurs de 1300 et 1450 MWe repose sur la conjonction d'une étanchéité statique (béton précontraint de la paroi interne) et d'une étanchéité dynamique (système de mise en dépression de l'espace entre les parois interne et externe). On parle d'Enceinte à Double Paroi (EDP). Les fuites potentielles au travers des parois internes se trouvent comme pour les enceintes des réacteurs 900 MWe au travers des traversées, mais surtout au travers du béton. Seules les fuites au niveau de rares traversées (comme le TAM) ne sont pas collectées ; les autres le sont dans l'Espace Entre Enceintes ou les bâtiments adjacents par les systèmes de ventilation associés.

Le taux de fuite total (c'est-à-dire paroi + traversées) de ces enceintes était **par conception** prévu pour être inférieur à 1,5 % par jour de la masse des gaz contenus dans l'enceinte aux conditions APRP ("critère DAC" [1]), avec la répartition suivante (au pic de pression APRP) :

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

- Pour P4 (4,8 bars absolus) : 8,2% de fuites aux traversées¹ et 91,8% de fuites transitant dans l'espace entre enceintes et reprises par la ventilation EDE, soit 0,123 % par jour de fuites aux traversées, et 1,377 % par jour de fuites transitant dans l'EEE [10].
- Pour P'4 (5,2 bars absolus) : 10,9% de fuites aux traversées¹ et 89,1% de fuites transitant dans l'espace entre enceintes et reprises par la ventilation EDE, soit 0,1635 % par jour de fuites aux traversées, et 1,3365 % par jour de fuites transitant dans l'EEE [11].
- Pour N4 (5,3 bars absolus) : 8% de fuites aux traversées¹ et 92% de fuites transitant dans l'espace entre enceintes et reprises par la ventilation EDE, soit 0,12 % par jour de fuites aux traversées, et 1,38 % par jour de fuites transitant dans l'EEE [12].

De manière simplifiée, on considère 10% de fuites aux traversées, à la pression de dimensionnement et 90% de fuites collectées dans l'EEE (on notera que cette répartition n'est pas valable pour d'autres pressions).

Parmi ces fuites aux traversées (10% de 1,5%), certaines sont collectées par les bâtiments périphériques, d'autres sont non collectées et vont directement à l'environnement selon la répartition suivante [4] :

- 9,2% de 1,5% (soit 0,138 % par jour de la masse des gaz contenus dans l'enceinte aux conditions APRP) de fuites collectées par les bâtiments périphériques,
- 0,8% de 1,5% (soit 0,012 % par jour de la masse des gaz contenus dans l'enceinte aux conditions APRP) de fuites non collectées vers l'environnement.

En réalité, les taux de fuites mesurés lors des épreuves enceinte ont conduit à une réévaluation des taux de fuite des enceintes à double paroi.

La note [3] montre une forte dispersion des taux de fuite des enceintes à double paroi : les enceintes sont classées "sensibles" (taux de fuite majorants) ou "non-sensibles" (taux de fuite minorants).

Des revêtements ont été appliqués sur les zones les plus fuyardes des enceintes afin de limiter le taux de fuite. Ces revêtements (de surface et de localisation variables selon les tranches) ont été qualifiés à l'APRP [3] ; cependant, ils restent sensibles aux conditions thermohydrauliques et radiologiques dans l'enceinte.

Ainsi, le taux de fuite de l'enceinte vers l'espace entre enceinte est dorénavant issu de la note [3]. Il varie en fonction de la pression dans l'enceinte (cf graphique et tableau) (à distinguer du taux de fuite via les traversées qui n'est pas affecté par la modification du comportement de l'enceinte béton).

On utilise pour les études 1300 MWe le taux de fuite de l'enceinte interne majorant (P'4 Belleville sans revêtement) issu de [3] variable selon la pression.

La sensibilité des résultats au taux de fuite est éventuellement étudiée en utilisant un taux de fuite moins pénalisant (P4 Paluel avec un revêtement totalement efficace).

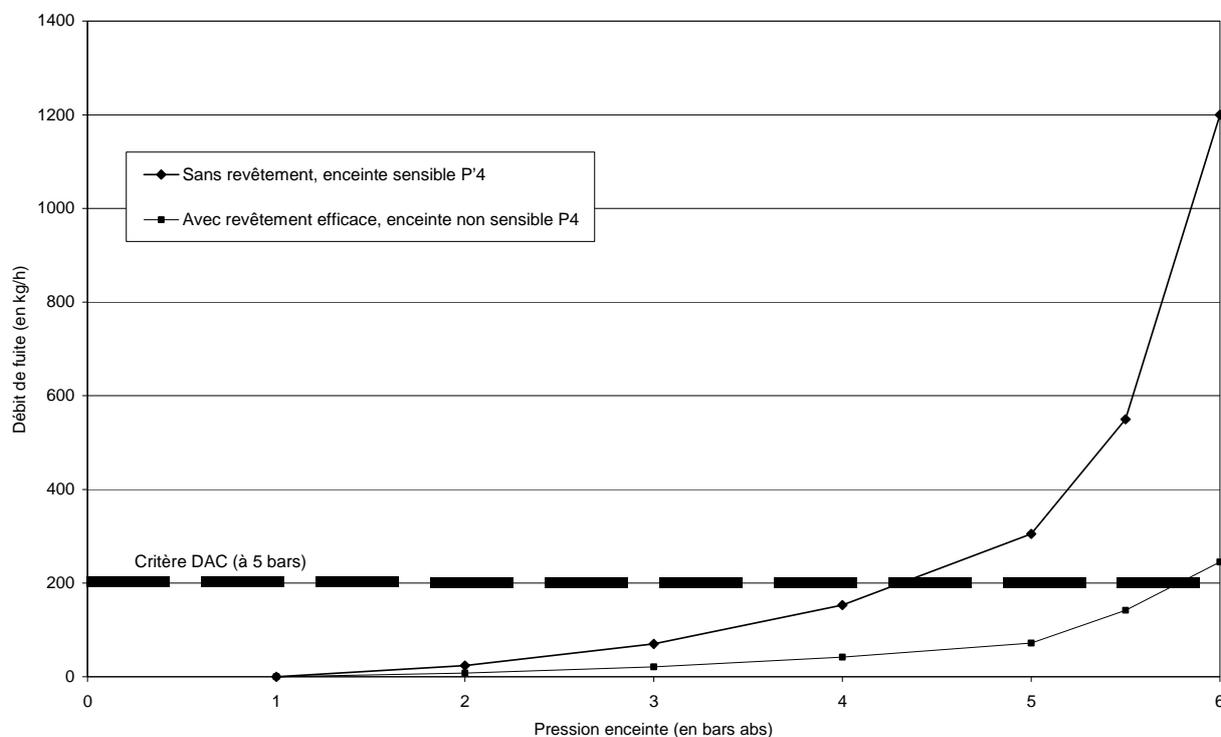
Pour information, on notera que conservativement, les revêtements sont considérés inefficaces 48 h après entrée en accident grave [3].

¹ Attention, ces fuites aux traversées sont dénommées "fuites directes" dans les rapports de sûreté, par opposition aux fuites indirectes qui se font dans l'espace entre enceintes. Dans le présent document, on réservera le terme "fuites directes" aux fuites non collectées (i.e. à l'environnement).

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

Il est à souligner que le document [3] est une évaluation préliminaire des taux de fuite et fournit des ordres de grandeur.

Les taux de fuite au travers des parois béton en fonction de la pression enceinte retenus sont représentés sur le graphique et dans le tableau ci-après :



Graphique : Evaluation du taux de fuite des EDP (vers l'EEE) pour le palier 1300 MWe en fonction de la pression enceinte

Tant que la pression de 6 bar n'a pas été atteinte, l'évolution du taux de fuite en fonction de la pression enceinte P'4 est la suivante :

Tant que P < 6 bars	Sans revêtement, enceinte sensible P'4	Avec revêtement efficace, enceinte non sensible P4
Pression enceinte (bar)	Débit de fuite paroi en kg/h	Débit de fuite paroi en kg/h
1	0	0
2	24	8
3	70	21
4	153	42
5	305	72
5.5	550	142
6	1200 (6 fois le critère DAC)	245

Tableau : Débit de fuite enceinte au travers des parois (vers l'EEE) avant que la pression 6 bars ne soit atteinte

3.3.2 Hypothèses retenues

Pour les calculs de terme source pour le palier 1300-1450 MWe, on utilise un taux de fuite vers l'EEE variable selon la pression. Le profil de pression accident grave utilisé est une montée de 3 bars à 5,2 bars en 24h, suivie d'un plateau à 5,2 bars (pour les cas de non dépressurisation de l'enceinte).

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

On notera que les valeurs de fuite présentées ci-avant représentent uniquement la fuite à travers le béton de la paroi interne de l'enceinte, donc la fuite vers l'EEE, et **ne comprennent pas les fuites via les traversées.**

Pour la valeur du taux de fuite via les traversées, il est considéré de manière découplée une fuite de 0,15 % par jour de la masse des gaz contenus dans l'enceinte aux conditions APRP (10% de 1,5%). En effet, seul le taux de fuite au travers des parois béton est affecté par la réévaluation des débits de fuite préalablement présentée. Aussi, les valeurs initiales de taux de fuite au travers des traversées ne sont pas modifiées et peuvent être évaluées de manière découplée.

Les variations du débit de fuite aux traversées selon la pression peuvent éventuellement s'évaluer de la même manière que pour le palier 900 MWe, en utilisant la loi de Nikuradze.

La répartition des fuites aux traversées (92% des fuites aux traversées collectées, 8% des fuites aux traversées non collectées, c'est-à-dire vers l'environnement) est conservée.

Le tableau ci-après récapitule la répartition des fuites :

1300-1450 MWe	Fuites collectées dans l'espace entre enceintes	Fuites collectées dans les bâtiments périphériques	Fuites non collectées (fuites vers l'environnement)
Fuites paroi béton	Variation selon la pression (voir tableau)	-	-
Fuites traversées	-	Hypothèse découplée : 9,2% de 1,5% masse par jour	Hypothèse découplée : 0,8% de 1,5% masse par jour

3.4 Taux de fuite enceinte de EPR Flamanville 3

3.4.1 Taux de fuite global

La particularité du réacteur EPR Flamanville par rapport aux autres paliers repose sur la présence d'une **double** enceinte avec **paroi métallique**, ce qui modifie les taux de fuite de l'enceinte interne et implique la prise en compte du système EDE de collecte de fuite. Il n'y a pas comme sur le palier 900 MWe de traversée débouchant directement à l'extérieur (en particulier le TAM débouche dans le BK, et non directement à l'extérieur). Toutes les fuites de l'enceinte sont donc collectées, aucune fuite ne va directement à l'environnement.

Le rapport de sûreté préliminaire [2] stipule que le débit de fuite maximum de l'enceinte interne est de 0,3 %/jour à la pression absolue de dimensionnement et à la température de dimensionnement, soit 5,5 bars et 170°C.

3.4.2 Répartition des fuites

Parmi ces fuites, on distingue [9] :

- Les fuites via les traversées de l'enceinte. Un objectif global d'étanchéité, vérifié lors des essais périodiques, est assigné à ces traversées. Par conception les fuites via les traversées ne peuvent que transiter par les bâtiments périphériques et être soumises à des effets de ligne retard (filtration, reprise, rétention, dilution, déposition). On considère sur la base du retour d'expérience des fuites aux traversées du palier 900 MWe qu'elles représentent 60% de la fuite totale.

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

- Les fuites via l'enceinte elle-même (fuites en partie courante dites fuites transitantes) à travers la paroi métallique et le béton pour les enceintes du palier EPR. Ces fuites sont reprises par l'EDE. On considère qu'elles représentent 40% de la fuite totale.

Ces taux de fuite sont valables à 5,5 bars et 170°C. Pour les transposer à d'autres conditions (P,T), on pourra éventuellement utiliser la loi d'écoulement de type Nikuradze.

3.4.3 Hypothèses retenues

Pour les calculs de rejets dans l'environnement pour EPR Flamanville 3, on utilise à titre d'hypothèse de découplage le taux de fuite 0,3%/jour (sauf étude spécifique pour laquelle on utilise la variation réelle de pression).

Le tableau ci-après récapitule la répartition des fuites, utilisée à titre de découplage :

EPR FA3	Fuites collectées dans l'espace entre enceintes	Fuites collectées dans les bâtiments périphériques	Fuites non collectées (fuites vers l'environnement)
Fuites paroi métallique	40% de 0,3% masse par jour	-	-
Fuites traversées	-	60% de 0,3% masse par jour	0

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves****4. Ventilation et taux de fuite de l'espace entre enceintes (hors palier 900 MWe)****4.1 Ventilation de l'EEE des réacteurs 1300 MWe et 1450 MWe**

L'espace entre enceintes du palier P4 a un volume de 26300 m³, celui du palier P'4 un volume de 17800 m³, celui du palier N4 un volume de 18000 m³.

4.1.1 Système de ventilation en service

Les DSE indiquent que le système EDE de ventilation de l'espace entre enceintes comprend 3 files : 2 files redondantes 100% avec piège à iode, et 1 file de contournement 100% utilisée en fonctionnement normal, chaque file étant équipée d'un préfiltre et d'un filtre THE. Chaque ventilateur a un débit unitaire maximum de 750 m³/h (débit maximum avec un ventilateur en service).

En fonctionnement normal, le système permet la mise en dépression de l'espace entre enceintes via la file de contournement. En cas d'accident type APRP, un basculement vers les files avec piège à iode est effectué. En cas d'accident grave, à l'entrée dans le GIAG, une file est maintenue à l'arrêt afin d'en disposer en cas d'indisponibilité de l'autre file.

La ventilation de l'espace entre enceintes est modélisée en considérant 1 file 100% en fonctionnement avec un débit de ventilation de 750 m³/h, ainsi qu'une filtration aérosols et iode (voir chapitre 6).

4.1.2 Système de ventilation hors service

En cas d'arrêt de la ventilation EDE, on suppose de manière simplifiée que le taux de fuite de l'enceinte externe est tel que le débit massique gazeux entrant dans l'EEE est égal au débit sortant dans l'environnement. La pression dans l'EEE se stabilise à une pression légèrement supérieure à celle de l'environnement. Aucune filtration n'est alors appliquée (on peut cependant noter que cela induit un effet retard bénéfique, et que des dépôts d'aérosols peuvent s'effectuer dans l'EEE).

4.2 Ventilation de l'EEE de EPR Flamanville 3

Le volume de l'espace entre enceintes de l'EPR Flamanville 3 est égal à 18000 m³.

La modélisation proposée pour EPR Flamanville 3 est du même type que celle retenue pour le 1300 MWe-1450 MWe.

En cas de fonctionnement du système de ventilation de l'espace entre enceintes, on considère un débit de ventilation égal à 300 m³/h (valeur issue du DSE EDE), ainsi qu'une filtration aérosols et iode (voir chapitre 6).

En cas d'arrêt de la ventilation, sur EPR, la dépression existant dans l'EEE donne un délai de grâce permettant de connecter les batteries [15]. Aussi, sur EPR, on ne considère pas de perte totale des ventilations sur l'EEE. Si toutefois une évaluation en cas d'arrêt des ventilations devait être effectuée, on adopterait une modélisation identique à celle utilisée pour les réacteurs 1300 MWe et 1450 MWe.

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

5. Ventilation et taux de fuite des bâtiments périphériques

Le chapitre 3 présente la répartition des fuites de l'enceinte, qui sont soit non collectées (directement à l'environnement), soit collectées vers l'espace entre enceintes (quand il existe), soit collectées dans les bâtiments périphériques à l'enceinte réacteur (BAN, BK, BW ou BAS selon le palier).

C'est à ces dernières que ce paragraphe s'intéresse.

Les fuites collectées dans les bâtiments périphériques ont un devenir différent selon le fonctionnement ou non des systèmes de ventilation :

- Si les systèmes de ventilation/filtration sont en marche, les fuites collectées dans les bâtiments périphériques sont filtrées (voir chapitre 6) avant d'être rejetées à l'extérieur par le système de ventilation (sauf pour les gaz rares pour lesquels l'efficacité de filtration est nulle).
- Si les systèmes de ventilation/filtration sont à l'arrêt (perte totale des sources électriques par exemple), les fuites transitant dans les bâtiments périphériques sont rejetées à l'extérieur sans être filtrées, avec un taux de fuite correspondant à la ventilation "naturelle" des bâtiments concernés. Les bâtiments périphériques ont alors un effet "retard" permettant une certaine décroissance radioactive du terme source. Le dépôt des produits de fission aérosols dans les bâtiments périphériques permet également une diminution des rejets.

Deux cas sont considérés : ventilations des bâtiments périphériques en service d'une part et hors service d'autre part. En cas de fonctionnement partiel de la ventilation des bâtiments périphériques, on se placera conservativement dans le cas "ventilations hors service".

5.1 Ventilation des bâtiments périphériques des réacteurs 900 MWe - Palier CPY

5.1.1 Répartition des fuites dans les bâtiments périphériques - Palier CPY

Les fuites collectées dans les bâtiments périphériques sur le palier 900 MWe CPY se font soit via la peau, soit via les traversées.

Pour les fuites via la peau, elles se font vers les locaux directement accolés à l'enceinte, à savoir les locaux du bâtiment des auxiliaires nucléaires (BAN, commun à 2 tranches sur ce palier), du bâtiment combustible (BK), du bâtiment électrique-bâtiment de liaison (BW).

Les fuites via les traversées se font dans les locaux de ces mêmes bâtiments. Les différentes traversées ainsi que les systèmes de ventilation associés sont identifiées dans [5].

On fait l'hypothèse que la répartition des fuites vers les bâtiments périphériques du palier CPY égale la répartition des fuites aux traversées vers ces bâtiments périphériques.

On évalue cette répartition des fuites aux traversées au prorata du périmètre (donc du diamètre) de ces traversées.

Sur la base des valeurs de diamètre des traversées fournies en annexe de [5], la répartition suivante des fuites de l'enceinte vers les bâtiments périphériques est ainsi obtenue :

REP 900-CPY	Locaux ventilés par DVN-normal	Locaux ventilés par DVK-iode	Locaux ventilés par DVW-iode
Répartition fuites collectées	24%	24%	52%

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

En outre, il est considéré une proportion forfaitaire de 10% de fuites débouchant dans des locaux non ventilés.

La répartition des fuites collectées devient donc :

REP 900-CPY	Locaux ventilés par DVN-normal	Locaux ventilés par DVK-iode	Locaux ventilés par DVW-iode	Locaux non ventilés
Répartition fuites collectées	22%	22%	46%	10%

5.1.2 Volumes des bâtiments périphériques - Palier CPY

Les volumes des bâtiments périphériques peuvent être estimés de plusieurs façons :

- En cas de fonctionnement des ventilations des bâtiments, on s'intéressera aux "volumes ventilés" par les systèmes de ventilation. Ces volumes sont pour la plupart fournis dans les DSE de ces systèmes ;
- En cas de non fonctionnement des ventilations des bâtiments, on s'intéressera aux volumes des zones contrôlées des bâtiments, estimés à partir des plans masse des bâtiments.

Ces volumes sont généralement différents. En effet, dans certains cas, un même système de ventilation peut ventiler plusieurs bâtiments et dans d'autres cas, plusieurs systèmes de ventilation peuvent ventiler un même bâtiment.

Les tableaux ci-après présentent les volumes considérés pour le palier CPY :

REP 900-CPY	Locaux ventilés par DVN	Locaux ventilés par DVK	Locaux ventilés par DVW
Volumes ventilés	75000 m ³	19000 m ³	14000 m ³

REP 900-CPY	BAN	BK	BW
Volumes des zones contrôlées	85000 m ³	25000 m ³	5000 m ³

5.1.3 Fonctionnement des systèmes de ventilation – Palier CPY

Le DSE du système DVN indique que les locaux du BAN sont classés :

- en locaux "ventilation normale" (filtration sur filtres THE uniquement, 3 ventilateurs d'extraction 50% de débit unitaire 89100 m³/h),
- et en locaux "ventilation iode" (locaux susceptibles de contenir des sources d'iode et donc avec ventilation basculée sur pièges à iode dès que le taux des iodes et composés iodés de l'air le justifie, 2 ventilateurs d'extraction 100% de débit unitaire 18800 m³/h).

Le DSE du système DVK indique qu'en marche normale, les locaux du BK sont ventilés en gros débit (2 ventilateurs d'extraction 100% de débit unitaire 30000 m³/h) avec filtration THE.

En cas d'accident (type APRP), le système bascule sur une ventilation à débit réduit (équipée de 2 ventilateurs d'extraction 100% de débit unitaire 3600m³/h) avec filtration THE et piège à iode.

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

Le système DVW est spécialement conçu pour extraire l'air des locaux périphériques où se trouvent les traversées de l'enceinte. Le DSE du système DVW indique qu'en marche normale, les locaux ventilés par ce système le sont avec 1 ventilateur d'extraction 100% de débit unitaire 12000 m³/h avec filtration THE.

En cas d'accident (type APRP), le système bascule sur une file de traitement spécialisée (équipée de 2 ventilateurs d'extraction 100% de débit unitaire 12000m³/h) avec filtration THE et piège à iode.

En cas de non fonctionnement de la ventilation, les débits de fuite des différents bâtiments périphériques correspondent au taux de renouvellement naturel de l'air des bâtiments.

Ils ont été déterminés aux valeurs suivantes, de manière concertée IRSN/EDF [13], pour les bâtiments périphériques des REP 900, 1300 et 1450 MWe :

- 5% vol/h dans des conditions météorologiques normales (vitesse du vent à 10 mètres de hauteur inférieure à 40 km/h),
- 10% vol/h en cas de vent fort (vitesse du vent à 10 mètres de hauteur supérieure à 40 km/h).

Dans ce cas, les fuites ne sont pas filtrées.

5.1.4 Hypothèses retenues pour les bâtiments périphériques – Palier CPY**5.1.4.1 Ventilation en service**

On considère qu'en cas d'accident grave, seules les ventilations iode sont en service, les ventilations normales (filtrations uniquement sur filtre THE) étant mises à l'arrêt. Aussi, la ventilation des locaux normalement ventilés par DVN-normal est reprise par le système DVN-iodé, de débit 18800 m³/h.

Les systèmes DVK-iodé et DVW-iodé ont les mêmes efficacités de filtration (voir chapitre 6) (à la différence du système DVN-iodé). Aussi, il est possible de considérer les locaux ventilés par DVK et par DVW comme un unique bâtiment d'un point de vue de la modélisation adoptée, de volume 33000 m³ (19000+14000m³) et de débit de ventilation 15600 m³/h (3600+12000m³/h).

Le taux de renouvellement naturel des locaux non ventilés est considéré égal à 5% vol/h. Leur volume est pris égal à la différence entre la somme des volumes des zones contrôlées des différents bâtiments et la somme des volumes ventilés, soit 7000 m³ (85000+25000+5000-75000-19000-14000 m³).

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

Aussi, en cas de fonctionnement de la ventilation des bâtiments périphériques, la modélisation des bâtiments périphériques pour le REP 900 CPY est constituée de 3 bâtiments :

REP 900-CPY	Locaux ventilés par DVN-iode	Locaux ventilés par DVK-iode et DVW-iode	Locaux non ventilés
Répartition des fuites collectées	22%	68%	10%
Volumes	75000 m ³	33000 m ³	7000 m ³
Débit de ventilation	18800 m ³ /h (5,2 m ³ /s)	15600 m ³ /h (4,3 m ³ /s)	-
Taux de renouvellement	0,25 vol/h	0,47 vol/h	0,05 vol/h (soit 1,2 vol/j)

5.1.4.2 Ventilation hors service

En cas de ventilation hors service, on retient l'hypothèse réaliste suivante : le taux de renouvellement est pris égal à 5% vol/h pour tous les bâtiments.

Du point de vue de la modélisation, un unique bâtiment périphérique est considéré, de volume égal à la somme des volumes des zones contrôlées des bâtiments BAN, BK et BW, soit 115000 m³.

5.2 Ventilation des bâtiments périphériques des réacteurs 1300 MWe et 1450 MWe

5.2.1 Répartition des fuites dans les bâtiments périphériques - Palier P'4

Pour les réacteurs 1300 MWe et 1450 MWe, les fuites via la paroi de l'enceinte sont collectées dans l'espace entre enceintes.

Les fuites collectées dans les bâtiments périphériques se font uniquement via les traversées, (à la différence du 900 MWe pour lequel elles se font aussi par les parois de l'enceinte), dans les locaux des bâtiments suivants : BAN, BAS, BK. Les différentes traversées ainsi que les systèmes de ventilation associés pour le palier P4 sont identifiés dans [6]. On considèrera que ces données sont également valables pour le palier P'4.

De la même manière que pour le palier CPY, on évalue cette répartition des fuites aux traversées au prorata du diamètre de ces traversées.

Sur la base des valeurs de diamètre des traversées fournies en annexe de [6], la répartition suivante des fuites de l'enceinte vers les bâtiments périphériques est ainsi obtenue :

REP 1300-P'4	Locaux ventilés par DVN-normal	Locaux ventilés par DVN-iode	Locaux ventilés par DVK-iode	Locaux ventilés par DVS-iode
Répartition fuites collectées	58%	11%	8%	23%

En outre, comme pour le palier CPY, il est considéré une proportion forfaitaire de 10% de fuites débouchant dans des locaux non ventilés.

La répartition des fuites collectées devient donc :

REP 1300-P'4	Locaux ventilés par DVN-normal	Locaux ventilés par DVN-iode	Locaux ventilés par DVK-iode	Locaux ventilés par DVS-iode	Locaux non ventilés
Répartition fuites collectées	52%	10%	7%	21%	10%

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

5.2.2 Volumes des bâtiments périphériques - Palier P'4

De la même manière que pour le CPY (voir paragraphe 5.1.2), deux jeux de valeurs pour les volumes des bâtiments périphériques ont été retenus pour le P'4, selon que les ventilations sont en fonctionnement ou non.

Les tableaux ci-après présentent les volumes considérés pour le palier P'4 :

REP 1300-P'4	Locaux ventilés par DVN	Locaux ventilés par DVK	Locaux ventilés par DVS
Volumes ventilés	65000 m ³	13200 m ³	17400 m ³

REP 1300-P'4	BAN	BK	BAS
Volumes des zones contrôlées (hors capacités)	90000 m ³	26000 m ³	12000 m ³

5.2.3 Fonctionnement des systèmes de ventilation – Palier P'4

Les DSE du système DVN indiquent que les locaux du BAN sont classés :

- en locaux "ventilation normale" (filtration sur filtres THE uniquement, 3 ventilateurs d'extraction 50% de débit unitaire 70000 m³/h (P'4) (P4 : 90000 (sauf St Alban : 80000)/ N4 : 65400)).
- et en locaux "ventilation iode" (locaux susceptibles de contenir des sources d'iode et donc avec ventilation basculée sur pièges à iode dès que le taux des iodés et composés iodés de l'air le justifie, 2 ventilateurs d'extraction 100% de débit unitaire 25000 m³/h (P'4) (P4 : 20000 / N4 : 30600)).

Le DSE du système DVK indique qu'en marche normale, les locaux du BK sont ventilés en gros débit (2 ventilateurs d'extraction 100% de débit unitaire 32500 m³/h (P'4) (P4 : 64000 / pour le N4 : assuré par DVN)) avec filtration THE.

En cas d'accident (type APRP), le système bascule sur une ventilation à débit réduit (équipée de 2 ventilateurs d'extraction 100% de débit unitaire 5000 m³/h (P'4) (P4 : 6000 / N4 : 5100)) avec filtration THE et piège à iode.

Le DSE du système DVS indique qu'en marche normale, les locaux ventilés par ce système le sont avec 2 ventilateurs d'extraction 100% de débit unitaire 10530 m³/h (P'4) (P4 : 13000 / N4 : 9300) sans filtration.

En cas d'accident (type APRP), le système bascule sur une file de traitement équipée de 2 ventilateurs d'extraction 100% de débit unitaire 9969 m³/h (P'4) (P4 : 12600 / N4 : 9300) avec filtration THE et piège à iode.

En cas de non fonctionnement de la ventilation, les débits de fuite des différents bâtiments périphériques correspondent au taux de renouvellement naturel de l'air des bâtiments.

Comme pour le CPY, ils ont été déterminés aux valeurs suivantes :

- 5% vol/h dans des conditions météorologiques normales (vitesse du vent à 10 mètres de hauteur inférieure à 40 km/h),

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

- 10% vol/h en cas de vent fort (vitesse du vent à 10 mètres de hauteur supérieure à 40 km/h).

Dans ce cas, les fuites ne sont pas filtrées.

5.2.4 Hypothèses retenues pour les bâtiments périphériques – Palier P'4

5.2.4.1 Ventilation en service

On considère qu'en cas d'accident grave, seules les ventilations iode sont en service, les ventilations normales (filtrations uniquement sur filtre THE) étant mises à l'arrêt. Aussi, la ventilation des locaux normalement ventilés par DVN-normal est reprise par le système DVN-iode, de débit 25000 m³/h.

Les systèmes DVK-iode et DVS-iode ont les mêmes efficacités de filtration (voir chapitre 6) (à la différence du système DVN-iode). Aussi, il est possible de considérer les locaux ventilés par DVK et par DVS comme un unique bâtiment d'un point de vue de la modélisation adoptée, de volume 30600 m³ (13200+17400m³) et de débit de ventilation 14969 m³/h (5000+9969m³/h).

Le taux de renouvellement naturel des locaux non ventilés est considéré égal à 5% vol/h. Leur volume est pris égal à la différence entre la somme des volumes des zones contrôlées des différents bâtiments et la somme des volumes ventilés, soit 32400 m³ (90000+26000+12000-65000-13200-17400 m³).

Aussi, en cas de fonctionnement de la ventilation des bâtiments périphériques, la modélisation des bâtiments périphériques pour le REP 1300 P'4 est constituée de 3 bâtiments :

REP 1300-P'4	Locaux ventilés par DVN-iode	Locaux ventilés par DVK-iode et DVS-iode	Locaux non ventilés
Répartition des fuites collectées	62%	28%	10%
Volumes	65000 m ³	30600 m ³	32400 m ³
Débit de ventilation	25000 m ³ /h (6,9 m ³ /s)	14969 m ³ /h (4,2 m ³ /s)	-
Taux de renouvellement	0,38 vol/h	0,49 vol/h	0,05 vol/h (soit 1,2 vol/j)

5.2.4.2 Ventilation hors service

En cas de ventilation hors service, on retient l'hypothèse réaliste suivante : le taux de renouvellement est pris égal à 5% vol/h pour tous les bâtiments.

Du point de vue de la modélisation, un unique bâtiment périphérique est considéré, de volume égal à la somme des volumes des zones contrôlées des bâtiments BAN, BK et BAS, soit 128000 m³.

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

5.3 Ventilation des bâtiments périphériques de EPR Flamanville 3

Comme pour le 1300-1450 MWe, les fuites collectées dans les bâtiments périphériques se font uniquement via les traversées, à la différence du 900 MWe pour lequel elles se font aussi par les parois de l'enceinte.

Les fuites de l'enceinte peuvent déboucher après avoir transité au travers des organes d'isolement des traversées dans les bâtiments suivants :

- Le BK (bâtiment combustible) ventilé par EBA petit débit,
- Les 4 BAS/ZC (partie en zone contrôlée des bâtiments des auxiliaires de sauvegarde) ventilés par DWL.

On ne dispose pas de la répartition des fuites entre les différents bâtiments périphériques. Etant donné que, à la différence des réacteurs 900 MWe, 1300 MWe et 1450 MWe, ces bâtiments périphériques sont ventilés par des systèmes de ventilation ayant un fonctionnement similaire (mêmes efficacités pour la filtration iode en particulier), on adopte une modélisation type "bâtiment équivalent" de volume égal à la somme des volumes des quatre BAS/ZC et du BK, et avec un débit de ventilation égal à la somme des débits de ventilation de chaque bâtiment.

5.3.1 Système de ventilation en service

En cas de fonctionnement des ventilations, la modélisation adoptée est la suivante :

EPR	Bâtiment équivalent	BK	4 BAS/ZC
Répartition fuites collectées	100%	-	-
Volume bâtiment	53106 m³	35156 m ³	17950 m ³
Débit de ventilation	8400 m³/h (2,33 m³/s)	5000 m ³ /h (1,39 m ³ /s)	3400 m ³ /h (0,944 m ³ /s)
Taux de renouvellement	0,16 vol/h	0,14 vol/h	0,2 vol/h

5.3.2 Système de ventilation hors service

Dans le cas d'un arrêt de ventilation, on considère le même bâtiment équivalent sans filtration.

Pour l'EPR, un critère global d'étanchéité statique pour chaque bâtiment périphérique (BAS, BAN et BK) est défini par conception à 0,5 vol/jour [2], soit 2,1% vol/h. Des dispositions de construction appropriées sont mises en place pour garantir ce critère.

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

6. Efficacité des filtrations

6.1 Terminologie

Ces éléments de terminologie sont issus de [19].

On parle de manière générale pour mesurer les performances des moyens de filtration d'"efficacité de filtration", bien qu'il s'agisse en toute rigueur de coefficient d'épuration (en anglais "decontamination factor"), qui est le rapport entre la valeur amont et la valeur aval. A titre d'exemple, une filtration efficace à 99% laissera passer 1% de l'élément considéré. Son coefficient d'épuration est donc de $100/(100-99)$ soit 100.

Tableau de correspondance

Efficacité de filtration	0%	90%	96,97%	99%	99,9%
Coefficient d'épuration	1	10	33	100	1000

On notera qu'aucun système de filtration ne permet de filtrer les gaz rares.

Les aérosols sont filtrés par des filtres THE (Très Haute Efficacité).

L'iode moléculaire I₂ et l'iode organique ICH₃ sont filtrés par des pièges à iode. Pour être efficaces, ils nécessitent le fonctionnement de réchauffeurs. Afin d'éviter de remplacer ces filtres trop souvent, ils sont généralement contournés par une ligne de by-pass en fonctionnement normal.

6.2 Coefficients d'épuration

Les coefficients d'épuration utilisés pour les études sont plus faibles que les coefficients d'épuration réels.

On notera que l'efficacité des pièges à iode est mesurée lors d'un test utilisant de l'iode organique ICH₃, et que l'efficacité à la rétention de l'iode moléculaire I₂ n'est pas testée expérimentalement. On admet conventionnellement un coefficient d'épuration 10 fois supérieur à celui mesuré avec ICH₃ [19].

Les coefficients d'épuration des différents filtres sont présentés dans le tableau ci-après [16] [17] [18] [20] :

Valeurs minimales des coefficients d'épuration		CPY : DVK, DVW P4, P'4, N4 : DVK, DVC, EDE, DVS EPR : filtres "accidentels"	CPY : DVN, ETY, TEG P4, P'4, N4 : DVN, ETY, DVQ EPR : filtres "opérationnels"
Pièges à iode	ICH ₃ (iode organique)	100	10
	I ₂ (iode moléculaire)	1000	100
Filtres THE	Aérosols et iode particulaire	1000	

Les pièges à iode doivent être considérés comme inefficaces en l'absence de réchauffeur.

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

Sur les réacteurs 900, 1300 et 1450 MWe, des filtres à sable dits U5 ont été installés pour assurer la dépressurisation de l'enceinte en cas d'accident grave. Du fait de la présence du circuit EVU (qui permet l'évacuation de la puissance résiduelle en cas d'accident grave), aucun dispositif de type U5 n'est prévu sur EPR.

Le filtre est efficace dès l'ouverture de l'exutoire U5. Le coefficient d'épuration dépend du type de produit de fission. Le tableau ci-après présente les coefficients d'épuration du dispositif U5 [16] :

Dispositif U5	Préfiltre	Filtre à sable
Aérosols	10 (sans ICB) 33 (si ICB, tant que le préfiltre n'est pas contourné)	100
lode moléculaire	10	

On notera que de manière conservative, l'efficacité du préfiltre n'est pas prise en compte.

7. Conclusion

Ce recueil présente les hypothèses fonctionnelles à utiliser pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en accident grave. Il complète le recueil des hypothèses physiques pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en accident grave.

On notera que certaines de ces hypothèses peuvent être amenées à évoluer, en particulier les estimations des taux de fuite des enceintes 1300 MWe qui seront réévaluées.

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

Annexe 1. Pressions et températures – Volumes enceinte

Les taux de fuite des enceintes sont généralement valables pour une pression et une température données. Cette annexe a pour objet d'expliquer les pressions et températures utilisées.

Les décrets d'autorisation de création des réacteurs limitent le taux de fuite dans l'enceinte à une valeur donnée dans les conditions de l'accident d'APRP (la formulation étant parfois différente selon le décret : "dépressurisation accidentelle du circuit primaire" (Bugey 2 et 3), "rupture circonférentielle complète et soudaine du circuit primaire avec séparation totale des extrémités" (CPY, 1300, N4)).

Pour les besoins de génie civil, une pression et une température de dimensionnement sont définies. Elles ne correspondent pas obligatoirement exactement aux pressions et températures d'APRP calculées pour les études d'accident, ces dernières pouvant être réévaluées lors des modifications (augmentations de puissance, changements de gestion...).

Le tableau ci-après récapitule les pressions et températures de dimensionnement (fixes), ainsi que les pressions et températures aux conditions d'APRP (variables). Il est à noter que la RTV (Rupture de Tuyauterie Vapeur) peut dans certains cas générer un pic de pression supérieur à celui de l'APRP (Accident de Perte de Réfrigérant Primaire).

	CP0	CP1-CP2	P4	P'4	N4	EPR
Pression de dimensionnement utilisée pour le génie civil (bar absolu)		5	4,8	5,2	5,3	5,5
Température de dimensionnement (°C)	140	140	140	140	140	170
Pression APRP (bar absolu)	4,86	4,93	4,43	4,87	4,96	5,4
Température APRP (°C)	138	185*	131,7	136,9	186,9*	177

(*) : prend en compte la surchauffe de la vapeur

Les volumes enceinte sont issus des jeux de données PAREO. Il s'agit des volumes libres, donc des volumes déterminés par la paroi de l'enceinte auquel on retranche le volume des voiles, planchers, équipements...

	Fessenheim	Bugey	CPY	P4	P'4	N4	EPR
Volume libre réaliste m ³	46000	46300	49900	81704	71430	73477	80235

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

Annexe 2. Calcul de la masse de gaz dans l'enceinte

Afin de déterminer la masse des gaz présents dans l'enceinte, il peut être utile de disposer de la masse molaire du mélange gazeux dans l'enceinte.

On considère qu'avant l'accident, le seul gaz présent dans l'enceinte est l'air. Pendant l'accident, on considère uniquement la présence d'air et d'eau, les autres gaz (notamment les gaz rares issus d'une éventuelle rupture des gaines ainsi que les gaz incondensables issus d'une éventuelle interaction corium béton) étant négligés.

On considère que les gaz dans l'enceinte suivent la loi des gaz parfaits : $PV = nRT$

Relation nombre de moles / masse : $m = nM$

$$\text{D'où : } m_{\text{air}} = \frac{M_{\text{air}} V P_0}{R T_0}$$

En considérant que à t_0 , le seul gaz présent dans l'enceinte est l'air et en utilisant la loi des gaz parfaits pour l'air, $P_1^{\text{air}} = T_1 \frac{P_0}{T_0}$ (avec $P_0^{\text{eau}}=0$).

En considérant qu'à t_1 , on peut négliger les autres gaz que l'air et la vapeur d'eau dans l'enceinte : $P_1^{\text{eau}} = P_1 - P_1^{\text{air}} = P_1 - T_1 \frac{P_0}{T_0}$

En utilisant la loi des gaz parfaits pour la vapeur d'eau, on obtient :

$$m_{\text{eau}} = \frac{M_{\text{eau}} V P_1^{\text{eau}}}{R T_1} = \frac{M_{\text{eau}} V}{R T_1} \left(P_1 - P_0 \frac{T_1}{T_0} \right) = \frac{M_{\text{eau}} V}{R} \left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_0}{T_0} \right)$$

D'où la masse totale de gaz dans l'enceinte à t_1 :

$$m_{\text{tot}} = m_{\text{eau}} + m_{\text{air}} = \frac{V}{R} \left(M_{\text{eau}} \frac{P_1}{T_1} + (M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}) \frac{P_0}{T_0} \right)$$

Et la masse molaire du mélange :

$$M_{\text{mélange}} = \frac{m_{\text{eau}} + m_{\text{air}}}{n_{\text{eau}} + n_{\text{air}}} = \frac{m_{\text{eau}} + m_{\text{air}}}{\frac{m_{\text{eau}}}{M_{\text{eau}}} + \frac{m_{\text{air}}}{M_{\text{air}}}} = \frac{M_{\text{eau}} \left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_0}{T_0} \right) + M_{\text{air}} \frac{P_0}{T_0}}{\frac{P_1}{T_1}}$$

$$\text{soit : } M_{\text{mélange}} = M_{\text{eau}} + (M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}) \frac{P_0 T_1}{P_1 T_0}$$

avec :

- $P, P_0, P_1, P_1^{\text{eau}}, P_1^{\text{air}}$: pression, pression initiale, pression totale à l'instant de calcul (par exemple au pic d'APRP), pression *partielle* de la vapeur d'eau à l'instant de calcul, pression *partielle* de l'air à l'instant de calcul,
- V : volume enceinte (m^3),
- R : constante des gaz parfaits ($8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$),

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

- T, T_0, T_1 : température, température initiale, température à l'instant de calcul,
- $n, n_{\text{eau}}, n_{\text{air}}$: nombre de moles, nombre de moles de vapeur d'eau dans l'enceinte, nombre de moles d'air dans l'enceinte,
- $m, m_{\text{eau}}, m_{\text{air}}, m_{\text{tot}}$: masse, masse de vapeur d'eau dans l'enceinte, masse d'air dans l'enceinte, masse totale dans l'enceinte (on néglige les autres gaz),
- $M, M_{\text{eau}}, M_{\text{air}}, M_{\text{mélange}}$: masse molaire, masse molaire de l'eau (18 g/mol), masse molaire de l'air (29 g/mol), masse molaire du mélange gazeux dans l'enceinte.

Application numérique :

Masse de mélange gazeux dans l'enceinte au pic APRP pour le palier 900 MWe :

($V = 49400\text{m}^3, T_0 = 40^\circ\text{C}, T_1 = 140^\circ\text{C}, P_0 = 1 \text{ bar}, P_1 = 5 \text{ bars}$)

On obtient :

- masse de gaz dans l'enceinte $m_{\text{tot}} = 150436 \text{ kg}$
- masse molaire du mélange : $M_{\text{mélange}} = 20,9 \text{ g.mol}^{-1}$

**Recueil d'hypothèses fonctionnelles
pour l'évaluation des rejets dans l'environnement en Accidents Graves**

Annexe 3. Lois d'évolution des fuites en fonction de la pression

- Loi d'écoulement de type laminaire de Poiseuille (pour enceinte 1300 béton) :

$$Q_i = K_1 \frac{(P_i^2 - P_0^2) M_i}{\mu_i T_i}$$

avec

K_1 : constante liée à la géométrie de la paroi de l'enceinte,

Q_i : débit massique dans l'enceinte,

P_i : pression dans l'enceinte,

T_i : température du gaz dans l'enceinte,

μ_i : viscosité dynamique du gaz.

- Loi d'écoulement turbulent rugueux de type Nikuradze (ou Nikuradse) (pour les traversées)

$$Q_i = K_2 \sqrt{\frac{(P_i^2 - P_0^2) M_i}{T_i}}$$

avec

K_2 : constante liée à la géométrie de la paroi de l'enceinte,

Q_i : débit massique dans l'enceinte,

P_i : pression dans l'enceinte,

T_i : température du gaz dans l'enceinte.

Le taux de fuite de l'enceinte s'exprime de la manière suivante :

$$F = \frac{Q}{m} \text{ avec } Q : \text{débit massique, } m : \text{masse de gaz dans l'enceinte.}$$

La loi des gaz parfaits donne : $PV = \frac{mRTQ}{M}$ avec P : pression dans l'enceinte, V : volume

interne de l'enceinte, M : masse molaire du gaz dans l'enceinte. D'où : $F = \frac{QRT}{PVM}$

$$\text{Le rapport entre deux taux de fuite est donc : } \frac{F_2}{F_1} = \frac{Q_2 T_2 P_1 M_1}{Q_1 T_1 P_2 M_2}$$

En appliquant ceci à la formulation d'écoulement laminaire, on obtient :

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{P_2^2 - P_0^2}{P_1^2 - P_0^2} \frac{P_1}{P_2} \frac{T_2}{T_1} \frac{T_1 + T_0}{T_2 + T_0} \frac{\mu_1}{\mu_2}$$

En appliquant ceci à la formulation de Nikuradze, on obtient :

$$\frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{P_2^2 - P_0^2}{P_1^2 - P_0^2} \frac{M_1}{M_2} \frac{T_2}{T_1} \right)^{1/2} \frac{P_1}{P_2}$$