



N10D0085270

BORDEREAU DE DIFFUSION

Diffusé le 04/06/2010

Référence du document diffusé : **ENTERP100010 [A]**

1/1

Titre du document diffusé : **Activités enveloppes relâchées du coeur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels**Emetteur : **BONELLI V.**Poste : **04.72.82.75.40**Entité émettrice : **TE**

Diffusion SEPTEN :	Support de diffusion	Nb. exemplaires
Serge BENJAMIN (CN/TC)	Document Complets	1
Xavier POUGET-ABADIE (D)	3 premières pages	1
Bernard PACE (D/DP)	Document Complets	1
Francois KAPPLER (D/DP)	3 premières pages	1
Jean-Pierre PERRIN (D/DP)	Document Complets	1
Patrick JACQUES (PR/TR)	Document Complets	1
Bernard PAYAN (SN)	3 premières pages	1
Marie-Helene BOSCHIERO (SN)	Document Complets	1
Jean-Jacques GOETTER (SN)	3 premières pages	1
Anne DE-DUMAST (SN/DR)	Document Complets	1
Patricia HUMANN (SN/EA)	3 premières pages	1
Michel CARRE Chef de Division (TE)	Document Complets	1
Nicolas BOUTEILLE (TE/AG)	Document Complets	1
Laurence GRAMMOSENIS (TE/AG)	Document Complets	1
Thierry DAGUSE Chef de Groupe (TE/AG)	Document Complets	1
Claire COATANEA (TE/RP)	Document Complets	1
Bruno DUPONT (TE/RP)	Document Complets	1
Benoit PICAUD (TE/RP)	Document Complets	1
Karine CORDIER (TE/RP)	Document Complets	1
Luc GUINARD Chef de Groupe (TE/RP)	Document Complets	1
Francesca SCARCELLI (TE/RP)	Document Complets	1
Vincent BONELLI (TE/RP)	Document Complets	1

Diffusion EDF :	Support de diffusion	Nb exemplaires
Sylvain PORTE (CNEN/PROJET_EPR)	Document Complets	1

Diffusion hors EDF :	Support de diffusion	Nb exemplaires

Commentaires :

Nombre total de documents 3 premières pages (partiels et complets) :

23

Nombre total de copies du bordereau seul :

Archivé au FDU : OUI

Approbateur		
Nom	Date	Visa
M. CARRE	02/06/2010	



DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE

SERVICE ÉTUDES ET PROJETS
THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

Diffusé le : Voir code barres ci-dessus

Entité émettrice: **TE**

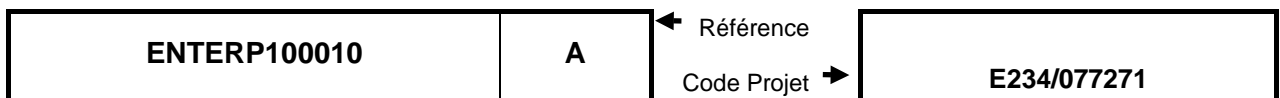
Rédacteurs : **BONELLI V.***

Nbre de pages : 39

Domaine d'application : **Parc et EPR**

Nbre d'annexes : 0

Titre : **Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels**



Type de document : **Note**

Mots clés : Inventaires cœur, produits de fission, conséquences radiologiques, puissance, taux de combustion, taux de relâchement, qualification des matériels

Résumé : Cette note évalue l'impact de la prise en compte d'activités relâchées du cœur en produits de fission enveloppes sur les études de conséquences radiologiques et de qualification des matériels déjà réalisées.

Cette note est à usage interne EDF

***Avec la participation de : CORDIER K., COATANEA C., DUPONT B., BOUTEILLE N.**

Diffusion : Par bordereau.

Rédacteur		Vérificateur		Approbateur	
Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa
BONELLI V. 01/06/2010		GUINARD L. 01/06/2010		CARRE M. 02/06/2010	

Evolutions des trois derniers indices

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

Dossier : ENTERP100127

Prédiffusion effectuée : OUI

Archivage long : NON	Archivé au FDU : OUI	Copyright EDF
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"/> Restreint	L'initiateur établit une liste explicite des destinataires. Chacun d'eux peut étendre la diffusion sous sa responsabilité (sur la base d'une liste explicite et avec information de l'initiateur).	
<input checked="" type="checkbox"/> Interne	Ne peut être transmis à l'extérieur d'EDF/DPI (et entités autorisées) que par une personne habilitée.	
<input type="checkbox"/> Libre	Document public.	

Ce document contient des informations sensibles relevant du secret et juridiquement protégées. Il est réservé à l'usage exclusif des personnes désignées comme destinataires du document et/ou autorisées à y accéder. Il est illégal de photocopier, distribuer, divulguer, ou d'utiliser de toute autre manière les informations contenues dans ce document sans accord du service émetteur de la DIN



SEPTEN

EDF SEPTEN	Note ENTERP100010		Indice A	Page 2/39				
Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels								
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"/>	En ligne	<input type="checkbox"/>	En cours	<input type="checkbox"/>
Indépendante		NON <input checked="" type="checkbox"/>	Hors EDF	<input type="checkbox"/>	En différé	<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"/>				
Après de :								
BOUTEILLE N. (TE/AG), GRAMMOSENIS L. (TE/AG), DAGUSE T. (TE/AG), COATANEA C. (TE/RP), CORDIER K. (TE/RP), BOSCHIERO M.H. (SN), DUPONT B. (TE/RP), BENJAMIN S. (CN/TC), JACQUES P. (PR/TR), PERRIN J.P. (D/DP), PACE B. (D/DP), DE DUMAST A. (SN)								
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"/>				

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Synthèse

Lors du GP « conséquences radiologiques » de juin 2009, l'IRSN a émis des doutes quant au caractère enveloppe des activités relâchées calculées par EDF pour les études de conséquences radiologiques. Ces activités relâchées par le cœur sont aussi utilisées pour les études de qualification de matériels en situation PCC4.

EDF s'est engagé, au travers d'une position/action, à proposer une méthode enveloppe pour le calcul de l'activité relâchée à échéance de la VD3 1300.

Cette note a pour objectif de proposer une nouvelle méthode d'évaluation des activités relâchées par le combustible en situation accidentelle et d'estimer son impact sur les études déjà réalisées.

Les accidents qui font l'objet de la présente étude sont les accidents avec ruptures de gaines sans fusion du cœur. L'étude des conséquences radiologiques et de la qualification des matériels ont en commun l'évaluation de l'activité relâchée par le combustible lors de l'accident.

Il est proposé de :

1. Utiliser un inventaire cœur enveloppe basé sur les hypothèses d'étude de tenue thermomécanique des crayons pour les études conduisant à moins de 100% de rupture de gaines. Lorsque 100% des gaines sont supposées rompues, l'inventaire moyen cœur actuel continuera d'être utilisé,
2. S'appuyer sur des taux de combustion enveloppes pour déterminer les taux de relâchement des lots d'assemblage, sans revoir la corrélation « taux de combustion »/ « taux de relâchement » utilisée dans les études actuelles,
3. Malgré une demande de l'ASN suite au GP, rester sur une hypothèse de répartition homogène (méthode « homogène ») des ruptures de gaines sur tous les lots d'assemblages. Néanmoins, l'impact d'une répartition des ruptures de gaines sur les assemblages les plus pénalisants en terme de relâchement (méthode pénalisante) est évalué.

Du point de vue des conséquences radiologiques, la méthode « homogène » et la méthode « pénalisante » ne conduisent pas à un dépassement des limites radiologiques actuelles. Des critères plus stricts (comme ceux en vigueur sur EPR) seraient par contre dépassés en APRP sur le Parc, notamment en supposant une répartition pénalisante des ruptures de gaines telle que demandée par l'ASN dans sa demande. Cependant, un tel dépassement des critères EPR existe déjà pour les études CP0 actuelles.

Du point de vue de la qualification des matériels hors EPR, la gestion GALICE reste la gestion enveloppe pour les calculs de doses en situation d'accident de dimensionnement.

Du point de vue de la qualification des matériels sur EPR, l'étude d'impact est biaisée : les études actuelles reposent sur la gestion MOX 18 mois, la méthode proposée a été mise en œuvre sur la première gestion EPR UO₂. Les calculs actuels restent enveloppes de la nouvelle méthode « homogène » appliquée à la première gestion. La répartition pénalisante des ruptures de gaines donne des doses d'ambiance beaucoup plus importantes, qui peuvent remettre en cause les doses standard associées. Quant aux traversées électriques, la répartition pénalisante serait problématique pour leur qualification à l'irradiation, qui est actuellement prévue à 50 kGy.

La RT SEPTEN du 6 avril 2010 a validé la méthode ci-dessus avec une mise en application sur le Parc à échéance de la VD3 1300, et un maintien du référentiel actuel pour EPR, avec une étude de sensibilité interne à la nouvelle méthode.

**Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences
radiologiques et de qualification des matériels****SOMMAIRE**

Synthèse.....	2
1. Références	6
1.1 GP conséquences radiologiques	6
1.2 Inventaires utilisés actuellement	6
1.3 Historiques de puissances enveloppes	6
1.4 Nature des crayons rompus	7
1.5 Validation de la méthode	7
1.6 Pratiques internationales.....	7
1.7 Codes de calcul	7
1.8 Qualification.....	7
1.9 Conséquences radiologiques.....	7
2. Introduction.....	8
3. Rappel de la problématique.....	8
3.1 Hypothèses des études de conséquences radiologiques et de qualification.....	8
3.2 Suites du GP « conséquences radiologiques » du 25 juin 2009	13
3.3 Objectifs	15
4. Proposition d'une méthode de calcul des activités relâchées.....	15
4.1 Calcul des inventaires cœur.....	15
4.2 Application des taux de relâchements	18
4.3 Taux de ruptures de gaines	21
4.4 Réponse de la méthode aux objectifs	22
5. Pratiques internationales.....	23
6. Impact de la méthode sur les activités relâchées.....	23
6.1 EPR - Première gestion.....	24
6.2 Palier CP0 – Gestion CYCLADES.....	25
6.3 Palier CPY – Gestion Parité MOX.....	27
6.4 Palier 1300 – Gestion GALICE.....	29
6.5 Palier N4 – Gestion ALCADE.....	31

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

7. Impact sur la qualification	33
7.1 Parc.....	33
7.2 EPR	34
8. Impact sur les conséquences radiologiques	35
8.1 Accident dimensionnant : APRP (Parc), manutention combustible (EPR)	36
8.2 Autres accidents.....	36
8.3 Synthèse de l'impact radiologique	38
9. Conclusion	38

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels**1. Références****1.1 GP conséquences radiologiques**

- [1] Conséquences radiologiques des accidents – Projet de rapport IRSN – Réunion du groupe permanent chargé des réacteurs nucléaires du 25 juin 2009 – Chapitre 3 §V
- [2] Courrier EDF ENSN090111 : « GP Conséquences radiologiques – Positions et actions d'EDF »
- [3] Courrier ASN Dep-DCN-0692-2009 : « Réacteurs électronucléaires REP d'EDF – Examen des conséquences radiologiques des accidents (hors accident grave) »

1.2 Inventaires utilisés actuellement

- [4] Note ENTERP060256A : « Gestion Cyclade : activité des produits de fission dans le cœur »
- [5] Note ENTERP060246A : « Gestion PARITE MOX : activité des produits de fission dans le cœur »
- [6] Note ENTERP040056A : « Gestion GALICE : activité des produits de fission »
- [7] Note ENTERP050043A : « Gestion ALCADE : activité des produits de fission dans le cœur »
- [8] Note ENTERP080098C : « EPR – première gestion combustible UO₂ : activité des produits de fission dans le cœur »

1.3 Historiques de puissances enveloppes

- [9] Note ENPRNC080083A : « Historiques de puissance enveloppes des études définitives pour la TTS EPR FA3 »
- [10] Note D4510NTBCMETS99002 ind.C : « Cyclades – Palier CP0 – Dossier Général d'évaluation de la sûreté à la recharge »
- [11] Note ENCNTC080033A : « Justification de la conception thermomécanique (hors IPG) des crayons de combustible RFA1300 Optimized ZIRLO en gestion gemmes »
- [12] Note AREVA FFDC0012 rév. D : « GALICE – Evaluation du comportement thermomécanique du crayon de combustible UO₂ »
- [13] Note AREVA FFDC0013 rév. E : « GALICE – Evaluation du comportement thermomécanique du crayon de combustible UO₂-Gd₂O₃ »
- [14] Fiche de communication ENPRNC070030A : « Augmentation de puissance des REP 1300 : Historiques de puissances »
- [15] Note AREVA FFDC01927 rév. B : « PARITE MOX 52 – Evaluation du comportement thermomécanique du crayon de combustible AFA3GA UO₂ »
- [16] Note AREVA FFDC01868 rév. D : « PARITE MOX 52 – Evaluation du comportement thermomécanique du crayon de combustible AFA3GA MOX »
- [17] Note AREVA FFDC04301 rév. B : « PARITE MOX 52 – Evaluation du comportement thermomécanique du crayon de combustible AFA3GA MOX pour l'historique HP3 »
- [18] Note AREVA TFJDC0175 rév. C : « Rapport de conception thermomécanique du crayon AFA2G URE équivalent 3,7% »
- [19] Note ENCNTC0200668 : « Justification de la conception thermomécanique des crayons de combustible RFA 900 en gestion GARANCE »
- [20] Fiche de communication ENCNA04003 : « Redimensionnement de l'historique MOX NT »

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

[21] Note AREVA FFDC01317 rév. D : « ALCADE – Evaluation du comportement thermomécanique des crayons de combustible UO₂ et UO₂-Gd₂O₃ »

1.4 Nature des crayons rompus

[22] Fiche de communication ENPRNA100032 : « Gain de marges NCE pour l'accident d'EDG : évaluation d'hypothèses recouplées (BU, crise d'ébullition) sur le mode de calcul du NCE »

1.5 Validation de la méthode

[23] Note ENDAM100073A : « Compte-rendu de la réunion technique SEPTEN (RTD) du 06 avril 2010 »

1.6 Pratiques internationales

[24] Rapport de la commission européenne de Avril 2001 : « Determination of the in-containment source term for a Large-Break Loss of Coolant Accident »

1.7 Codes de calcul

[25] Note ENPRNC070029A : « Code DARWIN V2.2 - Fiche de mise en exploitation »

[26] Note ENPRNC030027A : « Code APOLLO 2.5 – Fiche de mise en exploitation »

1.8 Qualification

[27] Note ENTERP080214 : « REP - Doses accidentelles maximales intégrées dans le bâtiment réacteur en APRP »

[28] Note ENTERP0802111A : « EPR – Doses maximales intégrées par les matériels du BR pour les accidents sans fusion du cœur (PCC4 – RRC-A) +

[29] Note ENTERP080168A : « EPR – Doses intégrées par les traversées électriques pour les accidents sans fusion du cœur dans le bâtiment réacteur »

1.9 Conséquences radiologiques

[30] Notes CP0/CPY :

- Note PR26674-NT27306 10 " Calcul des conséquences radiologiques des accidents de rotor bloqué d'une motopompe primaire (cat 4) et de retrait intempestif d'une grappe de réglage en puissance (cat 3) - palier 900 MWe CPY et CP0 - VD3"
- Note PR26674-NT27304 10 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident de manutention de combustible - Paliers CPY & CP0 900 MWe - VD3"
- Note PR26674-NT27118 10 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident d'éjection de grappe de régulation sur les paliers CP0 et CPY - 900 MWe - VD3"
- Note PR26674-NT27131 11 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident de perte de réfrigérant primaire (APRP) – Catégorie 4 – Palier 900 MWe CPY et CP0 - VD3"

[31] Notes N4 :

- Note PR27189-NT27872 10 "Calcul des conséquences radiologiques des accidents de rotor bloqué d'une motopompe primaire (cat 4) et de retrait intempestif d'une grappe de réglage en puissance (cat 3) – Palier N4 – VD1"
- Note PR27189-NT27795 10 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident de manutention de combustible – Palier N4 – VD1"

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

- Note PR27189-NT27967 10 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident d'éjection d'une grappe de régulation sur le palier N4 – VD1"
- Note PR27189-NT27923 10 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident de perte de réfrigérant primaire (APRP) - catégorie 4 - Palier N4 – VD1"

[32] Notes EPR :

- Note PR28035NT2944410 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident d'éjection d'une grappe de régulation EPR FLA3 – Gestion UOx"
- Note PR28035NT2920311 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident de perte de réfrigérant primaire (APRP) PCC4 – EPR FLA3 – GESTION UOx"
- Note PR28035NT2932510 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident de défaillance d'une pompe primaire – EPR FLA3 – UOx"
- Note PR28035NT2977210 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident de manutention de combustible – PCC4 – EPR Gestion UOx"

[33] Note APRP P4/P'4 :

- Note PR28012-NT2838210 10 "Evaluation des rejets lors d'un accident de perte de réfrigérant primaire (APRP) pour les taux de fuite de la paroi interne majorés – Palier 1300 MWe"

2. Introduction

Le calcul des conséquences radiologiques des accidents avec ruptures de gaines nécessite en préalable d'évaluer les activités des produits de fission susceptibles d'être relâchés par le cœur au moment supposé de l'accident. Lors du GP « conséquences radiologiques » de juin 2009, l'IRSN a émis des doutes quant au caractère enveloppe des activités relâchées calculées par EDF pour les études de conséquences radiologiques.

EDF s'est engagé, au travers d'une position/action, à proposer une méthode enveloppe pour le calcul de l'activité relâchée à échéance de VD3 1300.

Ces activités relâchées par le cœur sont aussi utilisées pour les études de qualification de matériels en situation PCC4.

Les études en situations d'accident grave ne sont pas concernées.

Après avoir rappelé la problématique, cette note présente une nouvelle méthode de calcul des activités relâchées puis évalue son impact sur les études déjà réalisées de conséquences radiologiques et de qualification des matériels aux conditions accidentelles de type PCC.

3. Rappel de la problématique

3.1 Hypothèses des études de conséquences radiologiques et de qualification

3.1.1 Types d'accidents concernés

Les études de qualification à l'irradiation des matériels et de conséquences radiologiques ont pour objectif d'évaluer la dose reçue par un matériel ou par des personnes lors d'un accident. Le terme source, i.e. la radioactivité à l'origine des doses reçues, dépend du type d'accident :

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

1. Les accidents ne générant pas de ruptures de gaines (ex : RTGV): le transitoire accidentel ne conduit pas à la perte d'intégrité de la première barrière (la gaine combustible). Le terme source est alors l'activité du circuit primaire au moment de l'accident. Cette activité provient des produits de corrosion et d'activation, ainsi que des produits de fission présents dans le circuit primaire du fait de l'inétanchéité de certains crayons combustibles lors du fonctionnement normal de l'installation,
2. Les accidents avec ruptures de gaines (Ex : APRP grosse brèche, éjection de grappe) : le transitoire accidentel conduit à la rupture de gaines d'un certain nombre de crayons. Le terme source est alors l'activité des produits de fission libérés dans le circuit primaire par les crayons dont les gaines sont rompues (l'activité primaire avant l'accident devient alors négligeable),
3. Les accidents avec fusion du cœur (accidents graves) : la situation accidentelle est dégradée au point d'atteindre dans le cœur des températures de fusion de la gaine et du combustible. Le terme source est alors constitué des produits de fission libérés par le combustible en fusion.

Les accidents qui font l'objet de la présente étude sont ceux du point 2 : les accidents avec ruptures de gaines sans fusion du cœur. L'étude des conséquences radiologiques et de la qualification des matériels ont en commun l'évaluation de l'activité relâchée par le combustible lors de l'accident. Celui-ci se fait en trois grandes étapes :

1. L'évaluation de l'inventaire en produits de fission du combustible : il s'agit de **l'inventaire cœur**.
2. L'évaluation de l'inventaire en produits de fission relâchés par un crayon dont la gaine est rompue. Il faut définir des **taux de relâchements** qui traduisent la fraction de chaque PF susceptible d'être relâché lorsque la gaine se rompt.
3. Pour chaque accident, il faut ensuite évaluer le nombre de crayons dont la gaine est susceptible de se rompre. Il s'agit du **taux de ruptures de gaines**, propre à chaque accident.

Chacune des ces trois étapes est détaillée dans les paragraphes suivants.

3.1.2 Inventaire cœur

3.1.2.1 Notion d'inventaire cœur

L'inventaire cœur est la quantité de radioéléments présents dans le combustible du réacteur et résultant des réactions nucléaires : ces radioéléments sont soit des produits de fission (issus de la fission de l'uranium et/ou du plutonium), soit des noyaux lourds ou actinides issus de captures neutroniques de l'uranium et/ou du plutonium. Dans les études de conséquences radiologiques et de qualification des matériels, les actinides ne sont pas pris en compte car leur relâchement lors des ruptures de gaines est négligé.

De manière générale, l'inventaire du combustible en produits de fission dépend de trois paramètres :

- le type de combustible : UO₂ ou MOX, et plus particulièrement, l'enrichissement en ²³⁵U pour le combustible UO₂ et le vecteur Pu pour le combustible MOX. La présence de Gadolinium dans les combustibles UO₂ influe peu sur l'inventaire en produits de fission,
- le taux de combustion du combustible, aussi appelé burn-up. Cette grandeur s'exprime en MW.jours/tonne de métal lourd du combustible. Le taux de combustion traduit l'énergie produite par 1 tonne de combustible (Uranium et/ou Plutonium dans les REP EDF).
- la puissance spécifique du combustible, exprimée en MW/t : il s'agit de la puissance fournie par une tonne de combustible à un instant donné.

En première approximation, l'inventaire des produits de fission dont la vie est courte devant celle d'un cycle est proportionnel à la puissance du combustible au moment du calcul. L'inventaire des produits de fission à vie longue est proportionnel au taux de combustion du combustible.

Ces trois paramètres (type de combustible, puissance, taux de combustion) déterminent l'inventaire en produits de fission du combustible. Dans la pratique, ces paramètres dépendent de la gestion combustible, de la position de l'assemblage dans le réacteur, de l'historique de l'assemblage lors de

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

ses campagnes antérieures et de la puissance du réacteur à l'instant considéré. Ainsi, pour un assemblage donné, la puissance et le taux de combustion évoluent au cours du cycle.

Le calcul de l'inventaire cœur d'une gestion combustible nécessite donc de faire des hypothèses sur la puissance du combustible et sur son taux de combustion, la nature du combustible étant définie par la gestion elle-même.

3.1.2.2 Méthode actuelle d'évaluation des inventaires cœurs

La méthode de calcul des inventaires cœurs utilisés dans les études actuelles de conséquences radiologiques et de qualification des matériels aux situations accidentelles de type PCC est décrite dans les notes [4][5][6][7][8].

La méthode utilisée repose sur une approche par lots d'assemblages. Un lot est défini comme un ensemble d'assemblages de même nature (UO₂, UO₂ avec crayons gadoliniums, MOX), ayant effectué le même nombre de cycles en réacteur (1, 2, 3 ou 4) et ayant le même historique d'irradiation.

Ainsi, chaque gestion combustible est scindée en 6 à 8 lots comprenant entre 8 et 72 assemblages chacun.

Pour chaque lot combustible, les valeurs retenues pour le taux de combustion et la puissance sont les valeurs moyennes en fin de cycle issues des calculs de cœur menés lors de l'élaboration de la gestion prévisionnelle. Les inventaires cœur sont ensuite calculés à l'aide du chaînage des codes APOLLO [26] et DARWIN [25].

Les notes [4][5][6][7] proposent ensuite des coefficients multiplicatifs à appliquer à ces inventaires pour estimer l'inventaire de l'assemblage le plus pénalisant de chaque lot :

- Le facteur à appliquer aux PF à vie courte est défini par le ratio entre la puissance maximale des crayons (facteur de point chaud) et la puissance moyenne du lot,
- Le facteur à appliquer aux PF à vie longue est défini comme le ratio entre le taux de combustion maximal des crayons et le taux de combustion moyen du lot.

Ces facteurs correctifs n'ont pas été retenus dans les calculs de conséquences radiologiques. Ils ont été utilisés pour une étude de sensibilité sur le palier 900.

Enfin, un inventaire en produits de fission est proposé pour un assemblage pénalisant calculé en :

- Multipliant les activités moyennes des PF à vie courte par le facteur de point chaud,
- Utilisant les activités d'un assemblage irradié jusqu'au critère de déchargement pour les PF à vie longue.

Pour EPR, le terme source enveloppe relatif à un assemblage combustible est alors obtenu à partir des 3 cas suivants :

- Forte puissance : le bilan matière effectué en fin de cycle pour les lots d'assemblages 1^{er} cycle et 2^{ème} cycle (sur les bases d'un historique d'irradiation moyen de l'assemblage du lot) sera augmenté du rapport $P_{\max AC} / P_{\text{moy lot}}$ avec :
 - $P_{\max AC}$, la puissance maximale relative à un assemblage du lot atteinte durant le cycle,
 - $P_{\text{moy lot}}$, la puissance moyenne du lot d'assemblages en fin de cycle.
- Caractéristique moyenne : le bilan matière effectué en fin de cycle pour le lot d'assemblages 3^{ème} tour (sur les bases d'un historique d'irradiation moyen de l'ensemble du lot) sera utilisé tel quel.
- Fort taux de combustion : le bilan matière effectué en fin de cycle pour les caractéristiques des assemblages ayant le plus fort taux de combustion.

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

3.1.3 Taux de relâchement

En fonctionnement normal, les produits de fission sont confinés dans les crayons combustibles, principalement dans les pastilles de combustible. Une fraction de produits de fission peut migrer dans les volumes libres du crayon (jeu pastille-gaine et joints de grains) par des phénomènes de diffusion ou d'éjection de la matrice combustible.

Certains accidents (ex : APRP grosse brèche, éjection de grappe) peuvent occasionner des dommages sur les gaines des crayons combustibles et conduire à des pertes d'étanchéité de la gaine combustible. On parle alors d'accidents avec ruptures de gaines.

Les produits de fission des volumes libres du crayon dont la gaine est rompue peuvent alors migrer vers le circuit primaire. Il est donc nécessaire de définir des taux de relâchement de chaque PF vers le circuit primaire.

Ces taux de relâchement traduisent la quantité de chaque produit de fission relâchée par les crayons qui ont perdu leur étanchéité. Ils s'expriment en % de la quantité du produit de fission présente dans le crayon au moment de l'accident. Ces taux de relâchement ont été estimés sur la base d'essais réalisés au CEA sur des pastilles de combustible (essais GASPARD et FLASH 5). Les taux de relâchement retenus par EDF dans ses études dépendent du taux de combustion du crayon combustible (cf. tableau 1) et sont à l'origine d'un « effet falaise » sur l'évaluation de l'activité relâchée. En effet, les résultats expérimentaux montrent qu'au-delà d'un certain taux de combustion, le relâchement des produits de fission augmente fortement. Le taux de combustion du combustible joue donc aussi un rôle déterminant dans cette étape du calcul.

Les essais GASPARD ne comportent pas suffisamment de points expérimentaux, notamment pour couvrir les taux de combustion élevés. Suite au GP Conséquences radiologique de juin 2009, EDF s'est engagé à conforter ces essais en analysant les essais VERCORS (initialement destiné aux taux de relâchement en accident grave). Bien que n'étant pas remis en cause par l'IRSN lors du GP, les taux de relâchement utilisés par EDF (cf. tableau 1) sont contestés dans le rapport préliminaire de l'IRSN, qui doute de la validité de l'essai FLASH 5 et de l'utilisation qui en est faite.

Eléments	Taux retenu pour les évaluations des rejets UO2		Taux retenu pour les évaluations des rejets MOX	
	TC (*) ≤ 47 GWj/t	TC > 47 GWj/t	TC ≤ 33 GWj/t	TC > 33 GWj/t
Kr 85	8 %	25 %	8 %	50 %
autres gaz rares	2 %	8 %	2 %	15 %
iodes, césium, brome, rubidium	2 %	8 %	2 %	15 %
Autres ^d	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴

Tableau 1 : taux de relâchement pris en compte dans les études

(*) Les taux de combustion sont des taux de combustion « moyen crayon »

3.1.4 Taux de ruptures de gaines

L'étude des accidents avec ruptures de gaines nécessite aussi de faire des hypothèses sur un taux de rupture de gaines, qui traduit le nombre de crayons combustibles perdant leur étanchéité lors de l'accident. Il est difficile d'évaluer une telle grandeur, c'est pourquoi le taux de rupture de gaines est en général une valeur de découplage faisant l'objet d'un consensus entre l'exploitant et l'autorité de sûreté. Le tableau 2 ci-dessous présente les valeurs retenues par EDF dans les études.

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Palier	Type d'études	Accident	Taux de rupture de gaines
EPR	Conséquences radiologiques	APRP	10% du cœur
		Ejection de grappes	10% du cœur
		Défaillance GMPP / Retrait de grappes	10% du cœur
		Manutention combustible	100% d'un assemblage
	Qualification des matériels	APRP	10 % du cœur
Parc (900, 1300, N4)	Conséquences radiologiques	APRP	33% du cœur
		Ejection de grappes	10% du cœur
		Retrait de grappes	5% du cœur
		Manutention combustible	100% d'un assemblage
		Rotor bloqué GMPP	10% du cœur
	Qualification des matériels	APRP	100 % du cœur

Tableau 2 : taux de rupture de gaines pris en compte dans les études

L'inventaire en produits de fissions d'un crayon et son taux de relâchement dépendent de son taux de combustion (cf. 3.1.2 et tableau 1). Notamment, les crayons présentant un taux de combustion supérieur à 47 GWj/t (33 GWj/t pour les MOX) relâcheront près de 4 fois plus d'activité que les autres en cas de rupture de gaines. La répartition des ruptures de gaines sur les lots d'assemblage est déterminante pour le calcul de l'activité relâchée.

Les taux de rupture de gaines étant des valeurs de découplage qui ne sont pas issues de démonstration physique, la répartition de ces ruptures de gaines relève d'un choix arbitraire.

Dans ses études, EDF répartit de manière uniforme le nombre de crayons rompus sur les différents lots d'assemblage, et propose dans certains cas d'affecter les crayons rompus au lot d'assemblages le plus pénalisant à titre d'étude de sensibilité.

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels**3.2 Suites du GP « conséquences radiologiques » du 25 juin 2009****3.2.1 Positions de l'IRSN**

Lors des réunions d'instruction technique en amont du GP, l'IRSN a demandé à EDF de se prononcer sur le caractère enveloppe des inventaires cœur utilisés pour le calcul des conséquences radiologiques.

L'avis de l'IRSN émis à la suite de cette instruction est exprimé dans le document [1], et les conclusions sont reprises ci-dessous :

Concernant l'inventaire cœur :

« L'IRSN considère que l'inventaire en PF à vie courte par lots d'assemblages, basé sur les historiques spécifiques de puissance d'un cycle de la gestion prévisionnelle, et l'inventaire en PF à vie longue par lots d'assemblages, basé sur les historiques spécifiques d'irradiation d'un cycle de la gestion prévisionnelle, ne sont pas enveloppes des inventaires potentiellement rencontrés au cours de l'exploitation d'une gestion du combustible. Par ailleurs, l'IRSN considère que l'inventaire en PF à vie longue d'un assemblage, basé sur l'irradiation d'un cycle de la gestion prévisionnelle, n'est pas enveloppe de l'inventaire d'un assemblage potentiellement rencontré au cours de l'exploitation d'une gestion du combustible.

Par conséquent, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF revoie les inventaires en produits de fission, basés sur les historiques spécifiques d'un cycle de la gestion prévisionnelle, en tenant compte des caractéristiques d'exploitation des différentes gestions du combustible, à savoir :

- *la puissance et l'irradiation pour les inventaires par lot d'assemblages ;*
- *l'irradiation pour les inventaires d'un assemblage seul.*

Inventaire par lots d'assemblages

Compte tenu de la dépendance de l'activité des produits de fission à vie courte vis-à-vis de la puissance et du fait qu'un accident conduisant à la rupture de crayons peut survenir à tout instant du cycle, et pas uniquement en fin de cycle, l'IRSN considère que le caractère enveloppe de l'inventaire cœur en produit de fission à vie courte, calculé en fin de prolongation de cycle, n'est pas démontré.

Ainsi, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF effectue un calcul de puissance pour chaque lot de combustible à plusieurs épuisements du cycle retenu pour l'étude des conséquences radiologiques et justifie, en regard des résultats, le caractère enveloppe de l'inventaire cœur en produit de fission à vie courte calculé en fin de prolongation de cycle.

Inventaire relatif à une partie d'un lot d'assemblage

Si l'IRSN considère conservative l'approche d'EDF pour déterminer l'inventaire relatif à une partie d'un lot d'assemblage, il estime, en revanche, que la valeur finale des facteurs correctifs dépend de la puissance et de l'irradiation rencontrées au cours de l'exploitation d'une gestion du combustible.

Par conséquent, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF justifie, pour chaque gestion du combustible, la valeur numérique du facteur correctif utilisée pour déterminer l'inventaire relatif à une partie d'un lot d'assemblage :

- *« PF vie courte » et son caractère enveloppe en regard des puissances crayons rencontrées en exploitation ;*
- *« PF vie longue » et son caractère enveloppe en regard des irradiations crayons rencontrées en exploitation. »*

[...], pour ce qui concerne les lots d'assemblages ayant un taux de combustion moyen inférieur à la valeur limite de 47 GWj/t pour l'UOX (33 GWj/t pour le MOX), tout en ayant des assemblages avec un taux de combustion supérieur à cette limite, l'IRSN considère que l'approche retenue par EDF est

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

incorrecte et que les taux de relâchement doivent être pondérés pour tenir compte du nombre d'assemblages effectivement irradiés au-dessus de 47 GWj/t pour l'UOX (33 GWj/t pour le MOX).

Par conséquent, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF applique un facteur correctif du taux de relâchement pour ce qui concerne les lots d'assemblages ayant un taux de combustion moyen inférieur à la valeur limite de 47 GWj/t pour l'UOX (33 GWj/t pour le MOX), tout en ayant des assemblages avec un taux de combustion supérieur à cette limite. »

Concernant les taux de relâchements :

« [...] Ainsi, l'IRSN considère que les résultats de l'essai FLASH 5 ne peuvent pas être utilisés pour définir des taux de relâchement enveloppes en cas d'APRP en raison de conditions non représentatives.

En conclusion, l'IRSN considère que les éléments de justification apportés par EDF ne permettent pas de juger du bien-fondé des taux de relâchement retenus pour l'évaluation des conséquences radiologiques d'un APRP de catégorie 4 »

Concernant les taux de ruptures de gaines :

« [...] En conclusion, l'IRSN considère qu'il n'est pas possible de définir la répartition précise des crayons rompus en conditions de fonctionnement de dimensionnement de catégories 3 et 4. De ce fait, il apparaît difficile de juger du caractère enveloppe de l'hypothèse de répartition uniforme des crayons rompus en regard des différentes situations accidentelles.

Par conséquent, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF recherche la répartition des crayons rompus, spécifique à chaque gestion du combustible, conduisant aux activités relâchées dans le circuit primaire les plus élevées, afin de garantir le caractère enveloppe de l'évaluation des conséquences radiologiques. »

3.2.2 Positions/Actions EDF

En amont du GP, EDF a donc pris deux positions/actions concernant le calcul de l'activité relâchée lors des accidents avec ruptures de gaines [2] :

- **Action n° 6 : Inventaires en produits de fissions du cœur**

Dans le cadre du réexamen de sûreté VD3 1300, les inventaires en produits de fission seront établis de manière à être enveloppes vis-à-vis des activités potentiellement relâchées du cœur lors d'un accident conduisant à des ruptures de la première barrière, pour les gestions combustible susceptibles d'être rencontrées en exploitation.

Les paramètres pris en compte pour établir cet inventaire en produits de fission seront :

- Le taux de rupture de gaines de l'accident considéré,
- La puissance des assemblages rompus,
- Le taux de combustion des assemblages rompus.

- **Action n° 8 : Justification des taux de relâchement en APRP**

EDF complètera, avant fin 2010, son argumentation quant au bien-fondé des taux de relâchement retenus pour l'évaluation de l'activité rejetée du combustible en situation d'APRP de catégorie 4, issus des essais analytiques dédiés GASPARD, en tenant compte des résultats expérimentaux disponibles (essais VERCORS notamment) et du consensus international quant à leur interprétation.

3.2.3 Demande de l'ASN

A la suite du GP, suivant l'avis de l'IRSN, l'ASN a émis la demande suivante [3] concernant la répartition des ruptures de gaines :

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

« L'ASN estime que la démonstration d'EDF reposant sur la répartition uniforme des taux de rupture de gaines ne permet pas, pour certaines gestions de combustible, de statuer sur le caractère enveloppe du relâchement des produits de fission en cas d'accident.

D2 – L'ASN vous demande, pour chaque gestion du combustible, de vous assurer du caractère enveloppe du terme source relâché dans le circuit primaire suivant les ruptures de gaines postulées, retenu pour l'évaluation des conséquences radiologiques »

3.3 Objectifs

Pour chacune des 3 étapes (inventaire cœur, taux de relâchement, taux de rupture de gaines), il est nécessaire de proposer une méthode de calcul qui puisse répondre aux demandes de l'ASN, sans trop pénaliser les conséquences radiologiques ou la qualification à l'irradiation des matériels.

4. Proposition d'une méthode de calcul des activités relâchées

Ce paragraphe a pour objectif de définir une méthode et de quantifier son impact sur les activités relâchées.

4.1 Calcul des inventaires cœur

Afin de répondre à l'action 6, il est nécessaire de définir une nouvelle méthode de calcul des inventaires cœur en produits de fission. Les accidents pouvant survenir à tout moment du cycle, l'inventaire cœur proposé doit être applicable quel que soit l'avancement dans le cycle.

Par ailleurs, une méthode suffisamment enveloppe pourra être valorisée pour répondre à la demande D2 du GP sur la répartition des ruptures de gaines.

4.1.1 Paramètres à prendre en compte

Comme cela a été évoqué précédemment, l'inventaire du cœur en produits de fission dépend de 3 paramètres :

- Le type de combustible : ceci nécessite de distinguer les gestions combustibles dans les calculs d'inventaires cœur,
- La puissance du combustible : Cette puissance est à étudier à l'échelle du crayon combustible. En effet, c'est bien à l'échelle du crayon que les phénomènes de production de PF, mais aussi de relâchements en cas de rupture de gaines, se produisent. L'approche par lot d'assemblages pour estimer la puissance du combustible est trop éloignée de la réalité physique. Dans la pratique, le rapport entre la puissance linéique maximale crayon (en W/cm) et la puissance linéique moyenne du cœur est de l'ordre de 1,5. Ce rapport est nommé $F_{\Delta H}$.
- Le taux de combustion : cette grandeur aussi est à étudier à l'échelle du crayon combustible. Par ailleurs, le taux de combustion joue un double rôle dans le calcul de l'activité relâchée. En effet, il est déterminant pour l'inventaire des PF à vie longue, mais le taux de combustion moyen crayon est aussi la grandeur définissant les taux de relâchement lors des ruptures de gaines. Le tableau 1 ci-dessus montre que les taux de relâchement peuvent être multipliés par 7 lorsqu'un seuil de taux de combustion est franchi à l'échelle du crayon. Cela explique pourquoi l'IRSN est attentive au taux de combustion que l'on retient pour un lot d'assemblage : un lot d'assemblage de taux de combustion moyen inférieur à la valeur seuil peut en effet être composé à 50% de crayons dont le taux de combustion est supérieur à la valeur seuil. Ceci peut induire une sous-estimation de l'activité relâchée du lot d'un facteur 3.

Du fait de l'utilisation du paramètre « taux de combustion » pour la détermination des taux de relâchements, il est nécessaire de déterminer les inventaires cœur par lots d'assemblages.

Par ailleurs, il existe de fortes variations de ces paramètres entre les crayons. Définir un inventaire cœur sur la base des caractéristiques moyennes des lots n'est pas enveloppe lorsqu'un faible nombre

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

de crayons est rompu : lorsqu'un seul assemblage pénalisant ou seulement 5 à 10 % des crayons du cœur sont rompus, il n'est pas illogique de supposer que ce sont les crayons les plus pénalisants de chaque lot qui relâchent, sauf si l'on parvient à démontrer que ce n'est pas le cas. A l'inverse, pour les études dans lesquelles on suppose 100% de crayons rompus, affecter à tous les crayons l'inventaire des crayons les plus pénalisants devient bien trop conservatif : pour ces études, rester sur une approche moyenne pour le calcul de l'inventaire cœur paraît plus réaliste. Ainsi, le caractère enveloppe de l'inventaire cœur ne peut pas être découplé du taux de ruptures de gaines.

On distinguera donc trois types d'études :

- Les études pour lesquelles le taux de rupture de gaines est de 100% du cœur,
- Les études pour lesquelles le taux de rupture de gaines est de 5%, 10% ou 33% du cœur,
- Les études ne concernant qu'un seul assemblage combustible.

4.1.2 Principes de la méthode**4.1.3 100% de ruptures de gaines dans le cœur : inventaire moyen**

Dans ce cas, l'inventaire en produits de fission susceptible d'être relâché provient de l'ensemble des crayons combustibles du cœur. L'inventaire cœur calculé doit alors être un inventaire moyen cœur par lots d'assemblages.

Les inventaires cœur proposés dans les notes [4][5][6][7][8] et utilisés dans les études actuelles de conséquences radiologiques et de qualification des matériels sont tout à fait pertinents pour les études où l'on suppose 100% de ruptures de gaines : pour chaque lot d'assemblages, les valeurs retenues pour le taux de combustion et la puissance sont les valeurs moyennes en fin de cycle issues des calculs de cœur menés lors de l'élaboration de la gestion prévisionnelle. Les inventaires cœur sont ensuite calculés à l'aide du chaînage des codes APOLLO [26] et DARWIN [25].

Les taux de combustion des lots les plus irradiés n'atteignent pas le taux de combustion maximal de décharge autorisé mais ceci est acceptable dès lors que l'on suppose 100% de ruptures de gaines.

4.1.4 5 à 33% de ruptures de gaines dans le cœur : inventaire enveloppe

Dans ce cas, une partie seulement des crayons du cœur perd son étanchéité. Afin de répondre à l'action 6, l'inventaire cœur calculé doit alors être un inventaire enveloppe du lot d'assemblages. Cela revient à supposer que ce sont les crayons les plus pénalisants de chaque lot qui relâchent.

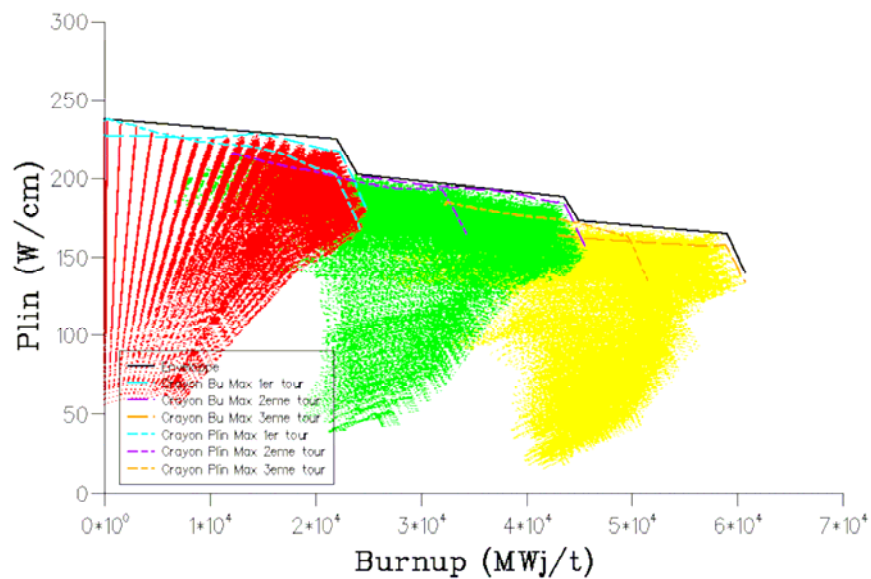
Pour les calculs d'inventaires cœur SEPTEN TE/RP propose de se baser sur les historiques de puissance utilisés pour les études de thermomécaniques du crayon.

4.1.4.1 Historique de puissance enveloppe

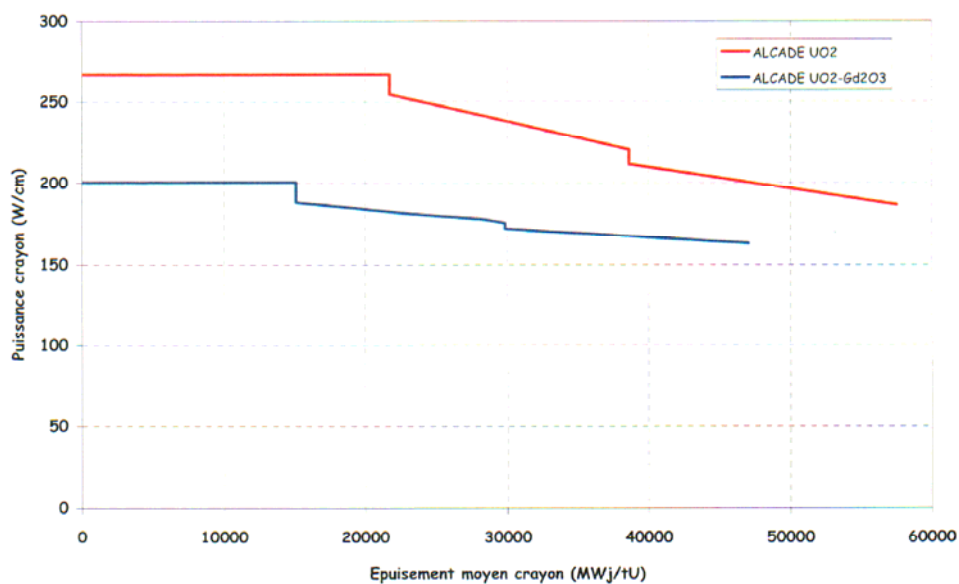
Pour démontrer le respect des critères de conception thermomécanique du crayon en fonctionnement normal et lors des transitoires de classe 2, les études s'appuient sur des historiques de puissance H/P enveloppes.

L'H/P d'un crayon combustible correspond à l'évolution de la puissance linéique (W/cm) en fonction de son taux de combustion (MWj/t). Cette évolution représente l'histoire du crayon au cours de ses différentes campagnes d'irradiation. L'H/P enveloppe représente l'histoire d'un crayon qui vivrait à chaque tour l'H/P le plus pénalisant des crayons de même tour. Cet historique permet de couvrir (du point de vue des études thermomécaniques) tous les crayons des cycles étudiés **sauf ceux des assemblages centraux**. Il est nécessaire de définir un H/P de conception propre à chaque produit combustible présentant des caractéristiques neutroniques différentes (pastille, enrichissement...). [9]

La figure 1 ci-dessous représente un tracé des couples (burn-up, puissance linéique) [9], et l'historique enveloppe qui en est déduit :

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels**Figure 1 : Exemple de détermination d'un historique enveloppe**

Ces H/P enveloppes permettent de déduire, pour chaque lot d'assemblages, une puissance et un taux de combustion enveloppes de l'ensemble des crayons du lot à tout instant du cycle. Le tableau 3 et la figure 2 ci-dessous présentent l'historique de conception des crayons ALCADE [21].

**Figure 2 : H/P de conception des crayons ALCADE**

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Crayon UO₂

Cycle 1	BU crayon (MWj/tU)	0	21700
	Puissance linéique (W/cm)	267	267
Cycle 2	BU crayon (MWj/tU)	21700	38600
	Puissance linéique (W/cm)	255	220
Cycle 3	BU crayon (MWj/tU)	38600	57500
	Puissance linéique (W/cm)	212	187

Tableau 3 : H/P de conception des crayons ALCADE UO₂ par cycle

Par ailleurs, ces H/P étant utilisés pour des études participant à la démonstration de sûreté, on s'assure à chaque rechargement sur le palier 900 qu'ils n'ont pas été dépassés. C'est pourquoi ces H/P figurent dans les dossiers spécifiques d'évaluation de la sûreté de la recharge du palier 900 [10].

Pour chaque gestion, les H/P sont présentés dans les notes [9] à [21].

4.1.4.2 Calcul de l'inventaire cœur enveloppe

La méthode proposée par SEPTEN TE/RP pour le calcul de l'inventaire cœur d'une gestion combustible est la suivante :

- Pour chaque lot d'assemblage, on remplace la puissance et le taux de combustion moyens du lot utilisés précédemment par la puissance et le taux de combustion maximums du lot de l'H/P de conception de la gestion. Il s'agit là de puissance et de taux de combustion enveloppes de l'ensemble des crayons combustible du lot d'assemblage. Ceci permet de raisonner encore par lots d'assemblages, ce qui évite de multiplier les cas de calculs.
- On calcule les activités spécifiques en Bq/tonne de métal lourd de chaque lot à l'aide du chaînage APOLLO-DARWIN,
- Pour l'assemblage pénalisant, l'activité spécifique (en Bq/tonne de métal lourd) retenue pour chaque PF est l'activité maximale calculée pour ce PF sur l'ensemble des lots.

Cette méthode revient à considérer que tous les crayons combustibles d'un lot d'assemblages sont irradiés à la puissance maximale pendant toute la durée du cycle, et atteignent le taux de combustion maximal du lot. Ceci permet de garantir que l'inventaire cœur ainsi calculé est enveloppe de l'inventaire cœur réel quel que soit l'instant de l'accident.

4.1.5 Rupture d'un seul assemblage : assemblage pénalisant

Lors des accidents n'affectant qu'un seul assemblage combustible (ex : accident de manutention dans le BK), l'activité de chaque produit de fission relâché doit être enveloppe de l'ensemble des assemblages du cœur. Le paramètre déterminant l'activité de chaque PF dans le combustible sera soit la puissance (PF à vie courte), soit le taux de combustion (PF à vie longue), soit ces deux paramètres simultanément (pour certains PF dont la période est de l'ordre de la durée d'irradiation). Il faut donc déterminer l'inventaire en produits de fission d'un assemblage fictif pénalisant.

Pour ce faire, la méthode proposée consiste à retenir pour chaque PF, la valeur maximale de son activité calculée pour chaque lot avec la méthode enveloppe.

4.2 Application des taux de relâchements

L'action 8 prise par EDF lors du GP de juin 2009 a pour objectif de justifier les taux de relâchements du tableau 1 à la lumière des essais VERCORS. Au vu des éléments disponibles à ce jour, il paraît difficile d'envisager une réévaluation à la baisse de ces taux de relâchements. Il ne serait pas judicieux de remettre en cause ces valeurs actuellement, car ce serait courir le risque de se voir imposer des valeurs à la hausse.

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Comme le montre le tableau 1, il est essentiel de connaître le taux de combustion du crayon rompu pour appliquer les taux de relâchements. Une approche crayon par crayon ne semble pas réaliste (5% de crayons cœur 900 MW correspond à plus de 2000 crayons). Il faut donc faire des hypothèses sur le taux de combustion d'un lot d'assemblages, et appliquer les mêmes taux de relâchements à l'ensemble du lot.

Actuellement, l'étude [22] permet de conclure que, pour du combustible à gainage M5, seuls les crayons dont le taux de combustion est compris entre 15 et 36 GWj/t peuvent rompre suite à l'entrée en crise d'ébullition lors d'un accident d'éjection de grappes.

En revanche, pour les autres types d'accidents, TE ne dispose pas d'éléments permettant de prédire les taux de combustion et la nature des crayons rompus.

4.2.1 Méthode utilisée actuellement

Dans les études actuelles, les taux de combustion utilisés pour déterminer les taux de relâchements sont les taux de combustion moyens du lot de la gestion prévisionnelle : si le taux de combustion moyen est inférieur à 47 GWj/t (ou 33 GWj/t pour le MOX), on considère que l'ensemble des crayons relâche avec les taux « TC <47 GWj/t ». Or, il est possible que dans un lot dont le taux de combustion moyen est inférieur à la valeur seuil, il y ait des crayons dont le taux de combustion est supérieur à la valeur seuil.

La méthode utilisée n'est alors plus enveloppe.

Avec la méthode actuellement utilisée, les taux de combustion moyens de certains lots d'assemblages sont proches de la valeur seuil (cf. tableau ci-dessous). Ceci s'explique aisément par le fait que le taux de combustion moyen d'un assemblage sur un cycle est de l'ordre de 15 GWj/t, soit 45 GWj/t sur trois cycles.

Gestion	Lot	Taux de combustion moyen (MWj/t)	Valeur limite (MWj/t)	Ecart à la limite
Cyclade	3ème cycle UO ₂	44619	47000	-5,07%
	3ème cycle UO ₂ -Gd	50303	47000	7,03%
Parite MOX	4ème cycle UO ₂	46202	47000	-1,70%
	2ème cycle MOX	29295	33000	-11,23%
Galice	3ème cycle UO ₂	51498	47000	9,57%
	3ème cycle UO ₂ -Gd	54234	47000	15,39%
Alcade	3ème cycle UO ₂	48592	47000	3,39%
	3ème cycle UO ₂ -Gd	46761	47000	-0,51%
EPR	3ème cycle UO ₂	50781	47000	8,04%
	3ème cycle UO ₂ -Gd	51922	47000	10,47%

Tableau 4 : Impact du taux de combustion sur le taux de relâchement

De plus, les taux de combustion moyens lot utilisés sont basés sur la gestion prévisionnelle, et, dans la pratique, peuvent varier à chaque cycle. L'écart de ces taux de combustion avec la valeur limite est dans certains cas inférieur à leur amplitude de variation à chaque cycle.

Ainsi, pour les gestions ALCADE et Parité MOX, l'application stricte de la méthode a conduit à attribuer à respectivement 40 et 25 assemblages un taux de relâchement bas alors que la valeur moyenne du taux de combustion de leur lot est inférieure de moins de 2 % à la valeur limite. Cela signifie qu'on a considéré que l'ensemble des crayons relâchait faiblement alors qu'on peut raisonnablement penser qu'environ la moitié de ces crayons a un taux de combustion supérieur à 47 GWj/t.

A l'inverse sur l'autre lot 3^{ème} cycle de la gestion ALCADE, la valeur haute des taux de relâchement a été retenue alors qu'on peut aussi raisonnablement penser qu'environ la moitié des crayons du lot a un taux de combustion inférieur à 47 GWj/t.

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

L'exercice de dénombrement des crayons a été mené sur la gestion ALCADÉ sur la base de la gestion prévisionnelle :

Le lot des 40 assemblages UO_2 -Gd 3^{ème} cycle à un taux de combustion moyen de 46761 GWj/t : il est considéré comme ayant un taux de combustion inférieur à 47 GWj/t pour le choix des taux de relâchement. Pour le lot des 28 assemblages UO_2 , dont le taux de combustion moyen est de 48592 GWj/t, les études de conséquences radiologiques retiennent un taux de relâchement majoré. Ainsi, les études de conséquences radiologiques (et la qualification) considèrent que $28 \times 264 = 7392$ crayons ont un taux de relâchement majoré.

Or, dans la gestion prévisionnelle, en fin de cycle à l'équilibre, 10307 crayons ont le taux de combustion supérieur à 47 GWj/t, soit 40% de plus que les hypothèses d'étude. Compte tenu que les taux de relâchement sont multipliés par 4 au-delà de 47 GWj/t, on peut donc estimer que cette approximation conduit à sous-estimer d'environ 10% l'activité relâchée en cas d'APRP avec 33% de ruptures de gaines uniformément réparties.

Le même exercice sur la gestion prévisionnelle Parité MOX conduit au même résultat (10% de sous estimation de l'activité relâchée).

Le problème majeur de ce type d'exercice est qu'il est basé sur une gestion prévisionnelle et rien ne permet pas d'affirmer qu'à chaque cycle le nombre de crayons dont le taux de combustion est supérieur à 47 GWj/t est identique.

4.2.2 Nouvelles méthodes proposées

La figure 1 met en évidence la forte disparité entre les taux de combustion des crayons d'un même lot.

Pour chaque lot, les données disponibles sont les suivantes :

- Un taux de combustion moyen du lot TC_{moy} , calculé dans la gestion prévisionnelle et fourni dans [4][5][6][7][8]. Cette donnée est théorique, et rien ne permet de garantir que cette valeur moyenne sera respectée à chaque cycle de la gestion combustible.
- Un taux de combustion maximum du lot TC_{max} : ce taux de combustion est un taux de combustion enveloppe de tous les crayons du lot et provient des H/P utilisés pour les études de thermomécanique du crayon (cf. 4.1.4.1). Cette valeur est garantie maximale quel que soit le cycle de la gestion combustible.

Dans tous les cas, on a $TC_{moy} < TC_{max}$.

Pour chaque lot, 3 cas de figures peuvent alors se produire (on note VS la valeur seuil au-delà de laquelle les taux de relâchements du lot augmentent : 47 GWj/t pour l' UO_2 et 33 GWj/t pour le MOX) :

1. $TC_{max} < VS$: tous les crayons ont un taux de relâchement faible. Les taux de relâchement sont les mêmes pour TC_{moy} et TC_{max} .
2. $TC_{moy} < VS < TC_{max}$: Comme cela a été expliqué ci-dessus, dans ce cas, les taux de relâchement appliqués dans les calculs actuels ne sont pas enveloppes. Le problème se pose pour les gestions Parité Mox, Alcade et Cyclades. Une partie des crayons relâche faiblement, l'autre fortement et il n'est pas possible de définir une répartition valable à chaque cycle de la gestion.
3. $VS < TC_{moy} < TC_{max}$: Les taux de relâchement sont les mêmes pour TC_{moy} et TC_{max} . Lorsque TC_{moy} est juste au-dessus de la valeur seuil, les taux de relâchement appliqués dans la méthode actuelle sont conservatifs, sans qu'il soit pour autant possible d'affirmer que ce phénomène «compense» le précédent pour chaque gestion. Une partie des crayons relâche faiblement, l'autre fortement et il n'est pas possible de définir une répartition valable à chaque cycle de la gestion.

2 méthodes sont envisageables pour traiter les points 2 et 3 :

Méthode 1 : Afin de garantir que les taux de relâchement sont bien enveloppes de l'ensemble des crayons du lot, la méthode la plus sûre consisterait à appliquer au lot les taux de relâchements correspondants à TC_{max} .

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Méthode 2 : On applique dans le cas 1 et le cas 3 le taux de relâchement correspondant à TC_{moy} et TC_{max} . Pour le cas 2, on considère de manière réaliste que la moitié des crayons a un taux de combustion inférieur à VS, et que l'autre moitié a un taux de combustion supérieur. Le taux de relâchement du lot est alors une moyenne des 2 catégories de taux de relâchement.

Nota : Lorsque TC_{moy} est proche de la valeur seuil ($TC_{moy} = VS \pm 5\%$), on considère que l'on se trouve dans le cas 2. En effet, si TC_{moy} est issue de la gestion prévisionnelle et le taux de combustion moyen d'un lot peut varier d'un cycle à l'autre. Lorsque TC_{moy} est proche de VS, on peut aussi considérer de manière réaliste que la moitié des crayons a un taux de combustion inférieur à VS, et que l'autre moitié a un taux de combustion supérieur.

Le tableau 5 ci-dessous présente les avantages et inconvénients des 2 méthodes :

	Avantages	Inconvénients
Méthode 1	<p>Enveloppe pour les accidents > 33% de rupture de gaines</p> <p>Revient à considérer que ce sont les crayons les plus pénalisants du lot qui relâchent</p> <p>Permet de s'affranchir de TC_{moy} et de s'appuyer sur une valeur vérifiée à chaque cycle</p>	<p>Trop enveloppe pour 100% de rupture de gaines</p>
Méthode 2	<p>Plus enveloppe que les études actuelles sur 900 et N4</p> <p>N'impacte pas les études 1300 et EPR</p>	<p>Revient à considérer une répartition homogène des ruptures de gaines dans chaque lot</p> <p>La répartition des crayons en fonction de leur taux de combustion est arbitraire</p> <p>Ne permet pas de s'affranchir de TC_{moy}</p>

Tableau 5 : avantages et inconvénients des méthodes d'application des taux de relâchements

La méthode 2, peu robuste, ne peut pas être considérée comme conservative (l'exercice réalisé sur la gestion prévisionnelle ALCADÉ au §4.2.1 montre qu'elle n'est pas enveloppe), et s'oppose fortement à la demande D2 de l'ASN. La méthode 1, bien que ne répondant pas entièrement à la demande D2, peut-être valorisée puisqu'elle revient à considérer que ce sont les crayons les plus pénalisants de chaque lot qui se rompent.

Il est donc proposé de ne pas retenir la méthode 2 et d'appliquer les taux de relâchement sur la base des taux de combustion enveloppes de chaque lot d'assemblages (méthode 1). Néanmoins, l'impact de la méthode 2 sur les activités relâchées et sur la qualification du matériel est évalué.

4.3 Taux de ruptures de gaines

Les taux de rupture de gaines étant des valeurs de découplage qui ne sont pas issues de démonstration physique, la répartition de ces ruptures de gaines relève d'un choix arbitraire.

Dans ses études, EDF répartit de manière uniforme le nombre de crayons rompus sur les différents lots d'assemblage, et propose dans certains cas d'affecter les crayons rompus au lot d'assemblages le plus pénalisant à titre d'étude de sensibilité.

La demande de l'ASN est la suivante : « D2 – L'ASN vous demande, pour chaque gestion du combustible, de vous assurer du caractère enveloppe du terme source relâché dans le circuit primaire suivant les ruptures de gaines postulées, retenu pour l'évaluation des conséquences radiologiques ».

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Appliquer la demande D2 consisterait à affecter les ruptures de gaines sur les lots d'assemblages dont l'activité relâchée est la plus importante. Les paragraphes 7 et 8 proposent une évaluation de l'impact de cette demande sur les études actuelles de qualification et de conséquences radiologiques.

3 pistes peuvent être explorées pour justifier de continuer à appliquer une répartition uniforme des ruptures de gaines sur tous les lots :

- Voir s'il est possible de bâtir un argumentaire sur leur application homogène aux différents lots d'assemblages. Notamment, le rapport [24] propose de retenir une valeur de 33% de rupture de gaines pour les APRP avec injection branche froide, en indiquant qu'il y a suffisamment de justification pour réduire de 100% à 33% le taux de ruptures de gaines. Aucune indication n'est donnée quant à la répartition de ces ruptures.
- Le fait de majorer les inventaires cœur (voire les taux de relâchements avec la méthode 1) ne suffit pas pour répondre entièrement à la demande D2, mais peut-être valorisé puisqu'il conduit à faire relâcher les crayons les plus pénalisants de chaque lot.
- Continuer les études de caractérisation des crayons rompus lors des divers transitoires accidentels : si l'on arrive à démontrer que les crayons les plus susceptibles de se rompre sont ceux dont le taux de combustion est inférieur aux valeurs seuils de 33 et 47 GWj/t, la répartition uniforme des ruptures de gaines est justifiable.

4.4 Réponse de la méthode aux objectifs

Le tableau 6 ci-dessous synthétise les hypothèses proposées pour répondre aux demandes du GP conséquences radiologiques :

Etapes du calcul	Hypothèses proposées	Réponse au GP
Inventaire cœur	<ul style="list-style-type: none"> - 100 % de ruptures de gaines : inventaire en PF moyen basé sur la gestion prévisionnelle - 5 à 33% de ruptures de gaines : inventaire en Pf basé sur un historique de puissance enveloppe - 1 seul assemblage : Inventaire en PF basé sur le max d'activité de ce PF dans un crayon à tout instant du cycle 	Cette démarche qui consiste à conditionner le calcul de l'inventaire cœur au taux de rupture de gaines permet de répondre à l'action 6.
Taux de relâchements	<ul style="list-style-type: none"> - Garder les taux de relâchements utilisés dans les études actuelles - Méthode 1 : se baser sur le taux de combustion maximum du lot pour appliquer les taux de relâchement - Méthode 2 : Equirépartir les crayons des lots dont le TC moyen est inférieur au seuil et le TC max est supérieur. 	<p>Nécessite d'apporter des compléments pour répondre à l'action 8.</p> <p>Valorisable pour répondre à la demande D2¹</p> <p>Ne répond pas à la demande D2</p>

¹ Cette méthode peut-être valorisée pour justifier une répartition uniforme des ruptures de gaines et ainsi nuancer la demande D2 de l'ASN. En effet, appliquer une répartition homogène des ruptures de gaines sur les lots d'assemblages avec ces inventaires cœur équivaut à affecter les ruptures de gaines aux crayons les plus pénalisants de chaque lot d'assemblage lorsque l'ensemble du lot n'est pas rompu. Cette approche est cependant moins conservatrice que celle recommandée par l'ASN consistant à affecter toutes les ruptures de gaines aux lots les plus pénalisants.

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Taux de ruptures de gaines	<ul style="list-style-type: none"> - Maintenir les taux de ruptures de gaines actuels - Maintenir une répartition uniforme des ruptures de gaines - Répartir les ruptures de gaines sur les lots relâchant le plus d'activités 	<p>Ne répond pas à la demande D2</p> <p>Répond à la demande D2 du GP</p>
-----------------------------------	---	--

Tableau 6 : Synthèse des méthodes proposées

5. Pratiques internationales

Le benchmark de la commission européenne de Avril 2001 [24] dresse un état des lieux des pratiques des pays européens pour leurs calculs de conséquences radiologiques des APRP grosse brèche et propose des valeurs communes.

On retrouve notamment des informations sur :

- Les inventaires cœur : en 2001, les calculs d'inventaires cœur convergeaient vers un inventaire moyen cœur. Aucune valeur n'est proposée.
- Les taux de relâchements : Les valeurs proposées sont de l'ordre de 9% pour le ^{85}Kr , 4% pour le ^{133}Xe , 2% pour ^{131}I et 3% pour Cs. A noter que ces taux de relâchements sont indiqués pour des taux de combustion inférieurs à 50 GWj/t, et correspondent au relâchement du jeu pastille gaine. Au-delà, le rapport ne propose pas de valeurs. Belges et Espagnols retiennent 100% de relâchement en gaz rares et 50% en iodes.
- Le taux de ruptures de gaines : en 2001, les taux de rupture de gaines pris par les exploitants : 100 % sauf pour les suisses (10%), allemands (10%), Néerlandais (10%) et slovènes (1%). Mais ces taux dépendent du mode d'injection de sécurité (branche froide ou simultanée branches chaude et froide). Le rapport de 2001 propose de retenir une valeur de 33% de rupture de gaines pour les APRP avec injection branche froide, en indiquant qu'il y a suffisamment de justification pour réduire de 100% à 33% le taux de ruptures de gaines. Aucune indication n'est donnée quant à la répartition de ces ruptures.

A titre de comparaison, les taux de relâchements et les taux de ruptures de gaines retenus par EDF sont indiqués dans les tableaux 1 et 2 ci-dessus.

6. Impact de la méthode sur les activités relâchées

Pour chaque palier, un inventaire cœur enveloppe a été recalculé et les activités relâchées des PF les plus contributeurs pour la qualification et les conséquences radiologiques sont estimées.

Dans ce qui suit, les activités relâchées sont évaluées avec plusieurs hypothèses :

- Les inventaires cœur sont calculés pour les accidents avec 100% de ruptures de gaines dans le cœur, pour les accidents avec de 5 à 33% des gaines rompues dans le cœur, et pour l'assemblage pénalisant,
- Les taux de relâchements sont appliqués à chaque lot soit avec la méthode 1 soit avec la méthode 2. Il faut noter que pour EPR et 1300 MWe, les deux méthodes conduisent au même résultat,
- Les ruptures de gaines sont affectées soit uniformément à tous les lots soit pour chaque PF, sur les crayons dont l'activité relâchée est la plus importante. Une répartition des ruptures de gaines sur le lot le plus pénalisant n'est pas la voie souhaitée par EDF mais est calculée dans cette note pour quantifier l'impact qu'aurait l'application de la demande D2 sur les études de conséquences radiologiques (et de qualification sur EPR).

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Les produits de fission retenus, principaux contributeurs au débit de dose et dose pour les conséquences radiologiques et la qualification, sont les suivants :

Isotopes	Périodes
Cs134	2,1 ans
Cs137	30,17 ans
I131	8 jours
I133	21 heures
I135	7 heures
Kr87	76 minutes
Kr88	3 heures
Xe133	5,2 jours
Xe135	9 heures
Xe135m	15 minutes
Xe138	14 minutes

Tableau 7 : Liste des PF impactant les conséquences radiologiques et/ou la qualification en PCC

6.1 EPR - Première gestion

6.1.1 Historiques d'irradiation proposés

L'historique d'irradiation enveloppe proposé est déduit des H/P crayons présentés dans la note [9] :

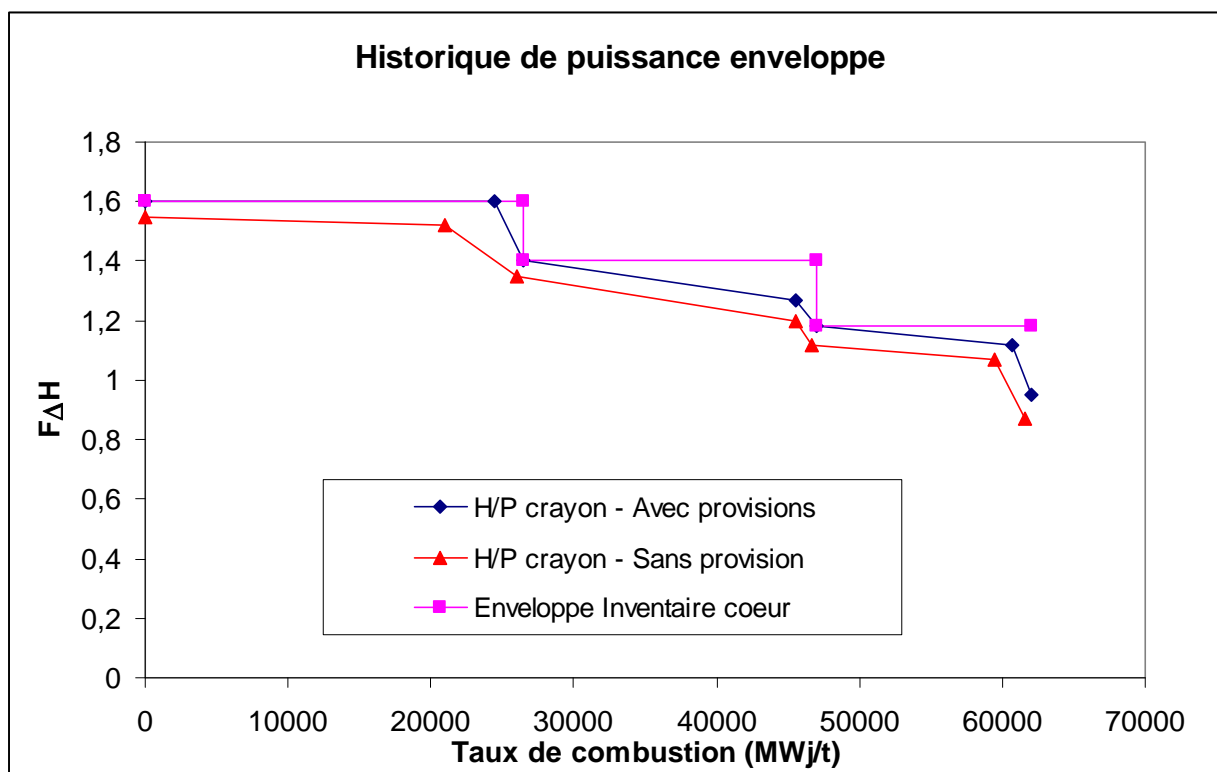


Figure 3 : Historique de puissance enveloppe pour les assemblages de la première gestion EPR

L'historique d'irradiation moyen est issu de la gestion prévisionnelle et calculé dans [8]. Les valeurs des lots UO₂ et UO₂-Gd de chaque cycle sont moyennées.

Le tableau 8 présente les historiques d'irradiation moyen et enveloppe utilisés pour le calcul des inventaires cœur et l'application des taux de relâchements :

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Lot	Type Assemblage	Nombre assemblages	Historique moyen (ENTERP080098)		Historique enveloppe (ENPRNC080083)	
			Taux de combustion (MWj/t)	Puissance spécifique (MW/t)	Taux de combustion (MWj/t)	Puissance spécifique (MW/t)
1er cycle	UO2	80	20231	26,56	26500	53,28
2ème cycle	UO2	80	38580,9	40,6	47000	46,62
3ème cycle	UO2	80	51807,9	31,25	62000	39,29
Central	UO2	1	65907	30,58	Maximum des activités de chaque lot	

Tableau 8 : Paramètres retenus pour les calculs d'activités relâchées

Sur EPR, on ne fait jamais l'hypothèse de 100% de ruptures de gaines. Seul un inventaire cœur enveloppe doit être calculé. Par ailleurs, la valeur seuil au-delà de laquelle les taux de relâchement changent est 47 GWj/t : aucun lot n'est dans la situation 2 (cf. §4.2.2) et les méthodes 1 et 2 sont identiques pour l'application des taux de relâchement.

6.1.2 Activités relâchées des PF contributeurs

Les activités relâchées en supposant 1 % de rupture de gaines sont présentées dans le tableau 9 sous forme de ratio par rapport à la méthode actuelle :

- Colonne méthode actuelle (MA) : pour chaque PF, il s'agit de l'activité relâchée (en Bq) avec l'inventaire cœur actuel en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie,
- Colonne homogène : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre l'activité relâchée en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie avec l'inventaire cœur enveloppe et l'activité de la colonne MA,
- Colonne Pénalisant : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre l'activité relâchée en supposant les ruptures de gaines affectées au lot le plus pénalisant avec l'inventaire cœur enveloppe, et l'activité de la colonne MA,

Le ratio « pénalisant » est valable jusqu'à 33% de ruptures de gaines.

- Colonne « Assemblage pénalisant » : il s'agit du ratio des activités relâchées par l'assemblage pénalisant entre la nouvelle méthode et la méthode actuelle.

	Méthode actuelle (MA)	Ratio Nouvelle méthode/MA		Assemblage pénalisant
		Homogène	Pénalisant	
Cs134	4,59E+14	1,50	3,62	1,27
Cs137	2,67E+14	1,22	2,77	1,09
I131	1,55E+15	1,47	2,68	1,05
I133	3,08E+15	1,45	2,61	1,04
I135	2,91E+15	1,45	2,62	1,04
Kr87	6,99E+14	1,34	2,15	0,99
Kr88	9,42E+14	1,33	2,13	0,99
Xe133	3,08E+15	1,45	2,61	1,04
Xe135	9,21E+14	1,05	1,90	0,83
Xe135m	6,39E+14	1,47	2,69	1,06
Xe138	2,62E+15	1,43	2,54	1,03

Tableau 9 : EPR - Activités relâchées (en Bq) pour 1% de rupture de gaines

6.2 Palier CP0 – Gestion CYCLADES

6.2.1 Historiques d'irradiation proposés

L'historique d'irradiation enveloppe proposé est déduit des H/P crayons présentés dans la note [10]. L'historique d'irradiation moyen est issu de la gestion prévisionnelle et calculé dans [4].

Le tableau 10 présente les historiques moyens d'irradiation et enveloppe utilisés pour le calcul des inventaires cœur et l'application des taux de relâchements :

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Lot	Type Assemblage	Nombre assemblages	Historique moyen (ENTERP060256)		Historique enveloppe (D4510NTCCMET9734)	
			Taux de combustion (MWj/t)	Puissance spécifique (MW/t)	Taux de combustion (MWj/t)	Puissance spécifique (MW/t)
1er cycle	UO2	52	16956,46	40,86	25000	53,74
2ème cycle	UO2	52	34702,92	42,76	42000	48,93
3ème cycle	UO2	52	47679,62	31,27	56800	37,22
Central	UO2	1	52403,00	35,11	Maximum des activités de chaque lot	

Tableau 10 : Paramètres retenus pour les calculs d'activités relâchées

La valeur seuil au-delà de laquelle les taux de relâchement changent est 47 GWj/t : seul le lot « 3^{ème} cycle UO2 » est dans la situation 2 (cf. §4.2.2) : il faut distinguer les méthodes 1 et 2 pour l'application des taux de relâchement.

Le tableau 11 ci-dessous présente pour chaque lot :

- les rapports entre les puissances et taux de combustion du calcul enveloppe et ceux du calcul moyen de l'inventaire cœur,
- Les facteurs correctifs utilisés dans l'inventaire actuel pour tenir compte de l'assemblage le plus pénalisant du lot (cf. §3.1.2.2).

Cyclades	Ratio enveloppe/moyen		Coefficients de pénalité de la note ENTERP060256		
	Lot	Taux de combustion	Puissance	Taux de combustion	Puissance
1er cycle		1,47	1,32	1,34	1,34
2ème cycle		1,21	1,14	1,29	1,25
3ème cycle		1,19	1,19	1,29	1,39
4ème cycle		1,08	1,53	1,50	1,20
Moyenne		1,29	1,22		

Tableau 11 : Ratios entre les 2 méthodes de calcul d'inventaires cœur

Les facteurs correctifs prévus initialement dans la méthode actuelle sont du même ordre de grandeur que les ratios entre la méthode enveloppe et la méthode moyenne. Il convient cependant de rappeler qu'ils n'ont été utilisés ni dans les études de conséquences radiologiques ni dans celles de qualification des matériels.

6.2.2 Activités relâchées des PF contributeurs

Les activités relâchées en supposant 1 % de rupture de gaines sont présentées dans le tableau 12 sous forme de ratio par rapport à la méthode actuelle (en distinguant les méthodes 1 et 2 sur l'application des taux de relâchements – cf. 4.2.2) :

- Colonne méthode actuelle (MA) : pour chaque PF, il s'agit de l'activité relâchée (en Bq) avec l'inventaire cœur actuel en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie,
- Colonne « Ratio Qualif » : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre l'activité relâchée en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie avec l'inventaire cœur moyen et l'activité de la colonne MA,
- Colonne « Conséquences radio » : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre l'activité relâchée en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie avec l'inventaire cœur enveloppe et l'activité de la colonne MA,
- Colonne « Répartition pénalisante » : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre l'activité relâchée en supposant les ruptures de gaines affectées au lot le plus pénalisant avec l'inventaire cœur enveloppe, et l'activité de la colonne MA,

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Le ratio «Répartition pénalisante » est valable jusqu'à 33% de ruptures de gaines.

- Colonne « Assemblage pénalisant » : il s'agit du ratio des activités relâchées par l'assemblage pénalisant entre la nouvelle méthode et la méthode actuelle.

	Méthode actuelle	Méthode 1		Méthode 2		Répartition Pénalisante	Assemblage pénalisant
		Ratio qualif	Ratio conséquences radio	Ratio qualif	Ratio conséquences radio		
Cs134	1,75E+14	1,33	1,87	0,93	1,31	4,52	1,14
Cs137	1,04E+14	1,33	1,62	0,95	1,16	3,67	1,10
I131	8,29E+14	1,24	1,51	0,96	1,18	2,65	0,88
I133	1,66E+15	1,23	1,51	0,96	1,18	2,61	0,91
I135	1,57E+15	1,23	1,51	0,96	1,18	2,61	0,92
Kr87	3,98E+14	1,22	1,67	0,98	1,37	2,43	1,38
Kr88	5,37E+14	1,22	1,68	0,98	1,38	2,43	1,39
Xe133	1,66E+15	1,23	1,50	0,96	1,18	2,60	0,91
Xe135	4,15E+14	1,27	1,41	0,98	1,09	2,52	0,86
Xe135m	3,42E+14	1,24	1,51	0,96	1,18	2,67	0,88
Xe138	1,43E+15	1,23	1,54	0,96	1,22	2,57	1,02

Tableau 12 : CP0 - Tableau 9 : Activités relâchées (en Bq) pour 1% de rupture de gaines

Dans le cas de Cyclades, l'impact sur les activités relâchées provient de la différence d'inventaire cœur, et, pour la méthode 1, du passage des assemblages 3^{ème} cycle à un taux de relâchement majoré.

6.3 Palier CPY – Gestion Parité MOX

6.3.1 Gestion combustible retenue

L'étude des historiques de puissance enveloppes de chaque gestion CPY (Garance, MOX NT et PARITE MOX) présentés dans les notes [15] à [20] montre que l'historique PARITE MOX permet d'envelopper toutes les gestions combustibles du CPY. Cette gestion est celle qui a été retenue dans les calculs de conséquences radiologiques actuelles.

6.3.2 Historiques d'irradiation proposés

L'historique d'irradiation enveloppe proposé est déduit des H/P crayons présentés dans les notes [15][16][17]. L'historique d'irradiation moyen est issu de la gestion prévisionnelle et calculé dans [5].

Le tableau 13 présente les historiques moyens d'irradiation et enveloppe utilisés pour le calcul des inventaires cœur et l'application des taux de relâchements :

Lot	Type Assemblage	Nombre assemblages	Historique moyen (ENTERP060246)		Historique enveloppe (FFDC01927 - FFDC01868 - FFDC04301)	
			Taux de combustion (MWj/t)	Puissance spécifique (MW/t)	Taux de combustion (MWj/t)	Puissance spécifique (MW/t)
1er cycle	UO2	28	11421	36,84	16450	53,74
2ème cycle		28	26125	47,43	32000	53,74
3ème cycle		28	37962	38,18	45600	47,46
4ème cycle		25	46202	26,58	57400	40,15
1er cycle	MOX	12	14011	45,2	16400	53,74
2ème cycle		12	29295	49,3	32200	53,32
3ème cycle		12	43491	45,79	50800	51,23
4ème cycle		12	49876	20,6	59000	41,82

Tableau 13 : Paramètres retenus pour les calculs d'activités relâchées

Pour les lots UO₂, la valeur seuil au-delà de la quelle les taux de relâchement changent est 47 GWj/t : seul le lot « 4^{ème} cycle UO₂ » est dans la situation 2 (cf. §4.2.2) : il faut distinguer les méthodes 1 et 2 pour l'application des taux de relâchement.

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Le tableau 14 ci dessous présente pour chaque lot :

- les rapports entre les puissances et taux de combustion du calcul enveloppe et ceux du calcul moyen de l'inventaire cœur,
- Les facteurs correctifs utilisé dans l'inventaire actuel pour tenir compte de l'assemblage le plus pénalisant du lot (cf. §3.1.2.2).

Parite MOX		Ratio Enveloppe/moyen		Coefficients de pénalité de la note ENTERP060246	
Type	Lot	BU	Puissance	BU	Puissance
UO2	1er cycle	1,44	1,46	1,4	1,3
	2ème cycle	1,22	1,13	1,2	1,1
	3ème cycle	1,20	1,24	1,2	1,2
	4ème cycle	1,24	1,51	1,2	1,4
MOX	1er cycle	1,17	1,19	1,2	1,2
	2ème cycle	1,10	1,08	1,2	1,1
	3ème cycle	1,17	1,12	1,2	1,2
	4ème cycle	1,18	2,03	1,3	1,9
Moyenne		1,24	1,34		

Tableau 14 : Ratios entre les 2 méthodes de calcul d'inventaires cœur

Les facteurs correctifs prévus initialement dans la méthode actuelle sont du même ordre de grandeur que les ratios entre la méthode enveloppe et la méthode moyenne. Il convient cependant de rappeler qu'ils n'ont été utilisés ni dans les études de conséquences radiologiques ni dans celles de qualification des matériels.

6.3.3 Activités relâchées des PF contributeurs

Les activités relâchées en supposant 1 % de rupture de gaines sont présentées dans le tableau 15 sous forme de ratio par rapport à la méthode actuelle (en distinguant les méthode 1 et 2 sur l'application des taux de relâchements – cf. 4.2.2) :

- Colonne méthode actuelle (MA) : pour chaque PF, il s'agit de l'activité relâchée (en Bq) avec l'inventaire cœur actuel en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie,
- Colonne « Ratio Qualif » : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre l'activité relâchée en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie avec l'inventaire cœur moyen et l'activité de la colonne MA,
- Colonne « Conséquences radio » : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre l'activité relâchée en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie avec l'inventaire cœur enveloppe et l'activité de la colonne MA,
- Colonnes « Répartition pénalisante » : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre
 - l'activité relâchée en supposant les ruptures de gaines affectées au(x) lot(s) le(s) plus pénalisant(s) avec l'inventaire cœur enveloppe. On distingue le cas où le taux de rupture de gaines est inférieur ou égal à 10% (un lot rompu) de celui où 33% des gaines sont rompues (3 lots concernés),
 - et l'activité de la colonne MA,
- Colonne « Assemblage pénalisant » : il s'agit du ratio des activités relâchées par l'assemblage MOX pénalisant entre la nouvelle méthode et la méthode actuelle.

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

	Méthode actuelle	Méthode 1		Méthode 2		Répartition pénalisante		Assemblage pénalisant MOX
		Ratio qualif	Ratio conséquences radio	Ratio qualif	Ratio conséquences radio	<10%	33%	
Cs134	2,05E+14	1,33	1,92	1,16	1,67	5,85	5,31	1,23
Cs137	1,30E+14	1,29	1,55	1,14	1,37	4,90	4,09	1,13
I131	1,06E+15	1,18	1,63	1,09	1,49	5,53	3,60	0,93
I133	2,05E+15	1,18	1,63	1,09	1,49	5,41	3,55	0,92
I135	1,96E+15	1,18	1,63	1,09	1,49	5,42	3,56	0,90
Kr87	3,77E+14	1,20	1,72	1,10	1,57	4,20	3,11	0,94
Kr88	5,03E+14	1,20	1,73	1,10	1,58	4,15	3,09	0,94
Xe133	2,05E+15	1,18	1,62	1,09	1,49	5,41	3,55	0,91
Xe135	8,94E+14	1,11	1,33	1,06	1,27	6,04	3,24	0,89
Xe135m	4,41E+14	1,18	1,63	1,09	1,50	5,61	3,62	0,94
Xe138	1,70E+15	1,18	1,64	1,09	1,50	5,23	3,49	0,90

Tableau 15 : CPY - Tableau 9 : Activités relâchées (en Bq) pour 1% de rupture de gaines

Dans le cas de PARITE MOX, l'impact sur les activités relâchées provient de la différence d'inventaire cœur, et, pour la méthode 1, du passage des assemblages 4^{ème} UO₂ cycle à un taux de relâchement majoré.

6.4 Palier 1300 – Gestion GALICE

6.4.1 Gestion combustible retenue

L'étude des historiques de puissance enveloppe de chaque gestion 1300 hors augmentation de puissance (Gemmes et GALICE) présentés dans les notes [11] à [13] montre que l'historique GALICE permet d'envelopper la gestion Gemmes. **La gestion Galice sera celle retenue pour les calculs d'inventaires cœur du palier 1300 hors AP1300.**

La comparaison de l'historique de puissance GALICE avec celui de la gestion AP1300 présentée dans le document [14] fait l'objet de la figure 4 : la gestion GALICE n'est pas enveloppe de l'historique AP1300 pour le 3^{ème} cycle. Pour un même taux de combustion, les puissances linéiques de l'AP 1300 sont de l'ordre de 5% supérieures à celles de GALICE.

Il sera donc nécessaire d'évaluer les inventaires cœur pour ces deux gestions.

Néanmoins, aucune étude de conséquences radiologiques ni de qualification des matériels n'ayant été menée avec la gestion AP1300, l'étude d'impact présentée ici se limitera à une évaluation des activités relâchées de la gestion GALICE.

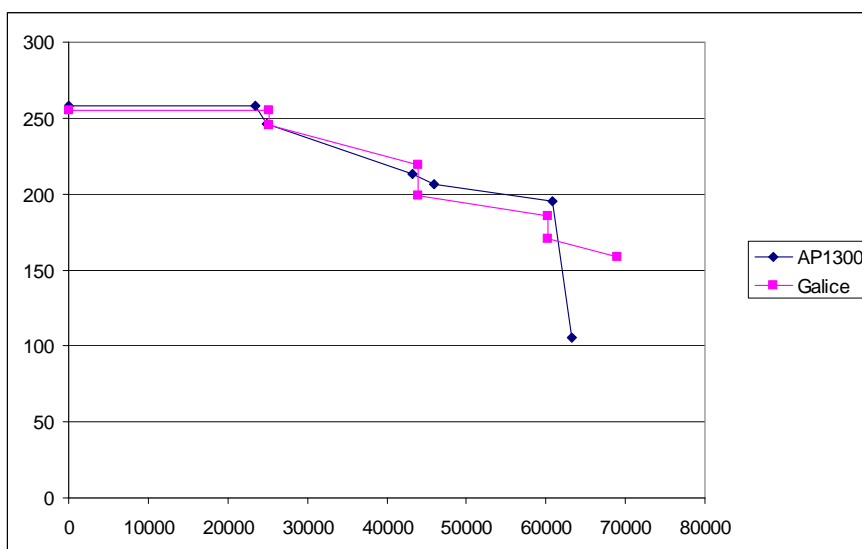


Figure 4 : Comparaison des historiques de puissance enveloppes des gestions Galice et AP1300

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

6.4.2 Historiques d'irradiation proposés pour la gestion GALICE

L'historique d'irradiation enveloppe proposé est déduit des H/P crayons présentés dans la note [12] :

L'historique d'irradiation moyen est issu de la gestion prévisionnelle et calculé dans [6]. Les valeurs des lots UO2 et UO2-Gd de chaque cycle sont moyennées.

Le tableau 16 présente les historiques d'irradiation moyen et enveloppe utilisés pour le calcul des inventaires cœur et l'application des taux de relâchements :

Lot	Type Assemblage	Nombre assemblages	Historique moyen (ENTERP040056)		Historique enveloppe (FFDC0012D)	
			Taux de combustion (MWj/t)	Puissance spécifique (MW/t)	Taux de combustion (MWj/t)	Puissance spécifique (MW/t)
1er cycle	UO2 - 4,5%	64	20675,69	41,18	25200	54,90
2ème cycle		48	36199,67	43,08	44000	52,70
3ème cycle		64	53379,00	33,43	60300	42,82
4ème cycle		16	54458,00	14,48	69000	36,60
Central		1	64616,00	31,30	Max des activités de chaque lot	

Tableau 16 : Paramètres retenus pour les calculs d'activités relâchées

La valeur seuil au-delà de laquelle les taux de relâchement changent est 47 GWj/t : aucun lot n'est dans la situation 2 (cf. §4.2.2) et les méthodes 1 et 2 sont identiques pour l'application des taux de relâchement.

Le tableau 17 ci-dessous présente pour chaque lot :

- les rapports entre les puissances et taux de combustion du calcul enveloppe et ceux du calcul moyen de l'inventaire cœur,
- Les facteurs correctifs utilisés dans l'inventaire actuel pour tenir compte de l'assemblage le plus pénalisant du lot (cf. §3.1.2.2).

GALICE Lot	Ratio enveloppe/actuel		Coefficients de pénalité de la note ENTERP040056	
	Taux combustion	Puissance	BU	Puissance
1er cycle	1,22	1,33	1,20	1,29
2ème cycle	1,22	1,22	1,20	1,20
3ème cycle	1,13	1,28	1,20	1,27
4ème cycle	1,27	2,53	1,94	1,94
Moyenne	1,19	1,32		

Tableau 17 : Ratios entre les 2 méthodes de calcul d'inventaires cœur

Les facteurs correctifs prévus initialement dans la méthode actuelle sont du même ordre de grandeur que les ratios entre la méthode enveloppe et la méthode moyenne.

6.4.3 Activités relâchées des PF contributeurs

Les activités relâchées en supposant 1 % de rupture de gaines sont présentées dans le tableau 18 sous forme de ratio par rapport à la méthode actuelle (en distinguant les méthodes 1 et 2 sur l'application des taux de relâchements – cf. 4.2.2) :

- Colonne méthode actuelle (MA) : pour chaque PF, il s'agit de l'activité relâchée (en Bq) avec l'inventaire cœur actuel en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie,
- Colonne « Ratio Qualif » : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre l'activité relâchée en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie avec l'inventaire cœur moyen et l'activité de la colonne MA,

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

- Colonne « Conséquences radio » : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre l'activité relâchée en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie avec l'inventaire cœur enveloppe et l'activité de la colonne MA,
- Colonnes « Répartition pénalisante » : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre :
 - l'activité relâchée en supposant les ruptures de gaines affectées au(x) lot(s) le(s) plus pénalisant(s) avec l'inventaire cœur enveloppe. On distingue le cas où le taux de rupture de gaines est inférieur ou égal à 10% (un lot rompu) de celui où 33% des gaines sont rompues (2 lots concernés),
 - et l'activité de la colonne MA,
- Colonne « Assemblage pénalisant » : il s'agit du ratio des activités relâchées par l'assemblage MOX pénalisant entre la nouvelle méthode et la méthode actuelle.

	Méthode actuelle	Ratio qualif	Ratio conséquences radio	Répartition <10% Pénalisante	Répartition 33% Pénalisante	Assemblage pénalisant
Cs 134F	4,48E+14	1,00	1,40	3,36	2,98	1,18
Cs 137	2,56E+14	1,00	1,17	2,58	2,36	1,07
I 131	1,57E+15	1,00	1,36	2,31	2,23	0,98
I 133F	3,13E+15	1,00	1,35	2,26	2,18	1,00
I 135	2,97E+15	1,00	1,35	2,27	2,18	1,00
Kr 87	7,13E+14	1,00	1,27	1,94	1,84	1,11
Kr 88	9,60E+14	1,00	1,26	1,92	1,83	1,11
Xe 133F	3,13E+15	1,00	1,35	2,27	2,18	1,00
Xe 135F	9,36E+14	1,00	0,93	1,53	1,50	0,74
Xe 135M	6,50E+14	1,00	1,36	2,32	2,24	0,98
Xe 138	2,67E+15	1,00	1,34	2,21	2,12	1,02

Tableau 18 : GALICE : Activités relâchées (en Bq) pour 1% de rupture de gaines

L'impact sur la qualification est nul puisque les inventaires cœur sont les mêmes et que les taux de relâchement appliqués sont identiques pour chaque lot à la méthode actuelle. L'impact sur les conséquences radiologiques provient uniquement de la différence d'inventaires cœur.

6.5 Palier N4 – Gestion ALCADÉ

6.5.1 Historiques d'irradiation proposés

L'historique d'irradiation enveloppe proposé est déduit des H/P crayons présentés dans la note [21]. L'historique d'irradiation moyen est issu de la gestion prévisionnelle et calculé dans [7].

Le tableau 19 présente les historiques moyens d'irradiation et enveloppe utilisés pour le calcul des inventaires cœur et l'application des taux de relâchements :

Lot	Type Assemblage	Nombre assemblages	Historique moyen (ENTERP050043)		Historique enveloppe (FFDC01317)	
			Taux de combustion (MWj/t)	Puissance spécifique (MW/t)	Taux de combustion (MWj/t)	Puissance spécifique (MW/t)
1er cycle	UO2	68	17123,24	41,97	21700	55,91
2ème cycle	UO2	68	34885,06	43,54	38600	53,40
3ème cycle	UO2	68	47514,94	30,95	57500	44,39
Central	UO2	1	47514,94	30,95	Maximum des activités de chaque lot	

Tableau 19 : Paramètres retenus pour les calculs d'activités relâchées

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

La valeur seuil au-delà de laquelle les taux de relâchement changent est 47 GWj/t : seul le lot « 3^{ème} cycle UO2 » est dans la situation 2 (cf. §4.2.2) : il faut distinguer les méthodes 1 et 2 pour l'application des taux de relâchement.

Le tableau 20 ci dessous présente pour chaque lot :

- les rapports entre les puissances et taux de combustion du calcul enveloppe et ceux du calcul moyen de l'inventaire cœur,
- Les facteurs correctifs utilisés dans l'inventaire actuel pour tenir compte de l'assemblage le plus pénalisant du lot (cf. §3.1.2.2).

ALCADE	Ratio enveloppe/moyen		Coefficients de pénalité de la note ENTERP050043	
	BU	Puissance	BU	Puissance
1er cycle	1,27	1,33	1,34	1,28
2ème cycle	1,11	1,23	1,24	1,20
3ème cycle	1,21	1,43	1,26	1,49
Moyenne	1,19	1,33		

Tableau 20 : Ratios entre les 2 méthodes de calcul d'inventaires cœur

Les facteurs correctifs prévus initialement dans la méthode actuelle sont du même ordre de grandeur que les ratios entre la méthode enveloppe et la méthode moyenne. Il convient cependant de rappeler qu'ils n'ont été utilisés ni dans les études de conséquences radiologiques ni dans celles de qualification des matériels.

6.5.2 Activités relâchées des PF contributeurs

Les activités relâchées en supposant 1 % de rupture de gaines sont présentées dans le tableau 21 sous forme de ratio par rapport à la méthode actuelle (en distinguant les méthodes 1 et 2 sur l'application des taux de relâchements – cf. 4.2.2) :

- Colonne méthode actuelle (MA) : pour chaque PF, il s'agit de l'activité relâchée (en Bq) avec l'inventaire cœur actuel en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie,
- Colonne « Ratio Qualif » : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre l'activité relâchée en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie avec l'inventaire cœur moyen et l'activité de la colonne MA,
- Colonne « Conséquences radio » : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre l'activité relâchée en supposant 1% de rupture de gaines uniformément répartie avec l'inventaire cœur enveloppe et l'activité de la colonne MA,
- Colonne « Répartition pénalisante » : pour chaque PF, il s'agit du ratio entre l'activité relâchée en supposant les ruptures de gaines affectées au lot le plus pénalisant avec l'inventaire cœur enveloppe, et l'activité de la colonne MA,
Le ratio « Répartition pénalisante » est valable jusqu'à 33% de ruptures de gaines.
- Colonne « Assemblage pénalisant » : il s'agit du ratio des activités relâchées par l'assemblage pénalisant entre la nouvelle méthode et la méthode actuelle.

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

	Méthode actuelle	Méthode 1		Méthode 2		Répartition pénalisante	Assemblage pénalisant
		Ratio qualif	Ratio conséquences radio	Ratio qualif	Ratio conséquences radio		
Cs134	2,32E+14	1,55	2,24	1,07	1,54	5,66	1,17
Cs137	1,37E+14	1,53	1,84	1,09	1,30	4,32	1,11
I131	1,21E+15	1,29	1,79	1,01	1,38	3,33	0,95
I133	2,41E+15	1,29	1,80	1,01	1,39	3,29	0,99
I135	2,28E+15	1,29	1,80	1,01	1,39	3,29	1,00
Kr87	5,69E+14	1,26	2,04	1,01	1,64	3,21	1,50
Kr88	7,68E+14	1,25	2,05	1,01	1,65	3,21	1,51
Xe133	2,41E+15	1,29	1,79	1,01	1,38	3,27	0,98
Xe135	6,29E+14	1,36	1,46	1,05	1,12	2,69	0,78
Xe135m	4,97E+14	1,29	1,80	1,01	1,38	3,35	0,95
Xe138	2,07E+15	1,28	1,85	1,01	1,44	3,27	1,10

Tableau 21 : ALCADE - : Activités relâchées (en Bq) pour 1% de rupture de gaines

Dans le cas de ALCADE, l'impact sur les activités relâchées provient de la différence d'inventaire cœur, et, pour la méthode 1, du passage des assemblages 3^{ème} cycle à un taux de relâchement majoré.

7. Impact sur la qualification

7.1 Parc

L'étude d'impact des méthodes 1 et 2 sur la qualification des matériels du parc en situation d'APRP est réalisé à partir des calculs de doses de la note [27].

Les doses γ et β accidentelles maximales intégrées dans le bâtiment réacteur en APRP, 1 an après l'accident, sont présentées dans les tableaux suivants respectivement pour les gestions CYCLADES, Parité-MOX et ALCADE.

Ces doses sont obtenues en supposant 100 % de ruptures de gaine uniformément répartie avec l'inventaire cœur moyen.

Les pourcentages traduisent l'écart avec la méthode actuelle.

Pour la gestion GALICE, il est rappelé que l'impact sur la qualification du parc est nul puisque les inventaires cœur sont les mêmes et que les taux de relâchement appliqués sont identiques pour chaque lot à la méthode actuelle.

Gestion CYCLADES Palier CP0 / Fessenheim	Dose γ - 1 an			Dose β - 1 an		
	Méthode actuelle ENTERP080214 A	Méthode 1	Méthode 2	Méthode actuelle ENTERP080214 A	Méthode 1	Méthode 2
Point n°1 6 m au-dessus du plancher de service	11	14 24%	10 -10%	70	87 25%	67 -4%
Point n°2 1 m au-dessus du plancher de service	18	24 31%	17 -6%	70	87 25%	67 -4%
Point n°3 Au contact de l'eau du plancher de service	22	28 28%	20 -9%	70	87 25%	67 -4%
Point n°4 1 m au-dessus du plancher (espace annulaire)	31	42 34%	29 -6%	15	18 21%	14 -7%
Point n°5 Dans l'eau du plancher (espace annulaire)	72	95 32%	67 -7%	11	14 27%	10 -9%
Point n°6 1 m au-dessus de l'eau du puisard	41	54 32%	38 -7%	15	18 21%	14 -7%
Point n°7 Dans l'eau des puisards	110	146 32%	102 -7%	11	14 27%	10 -9%

Tableau 22 : CYCLADES : Doses γ et β maximales intégrées en APRP en 12 mois

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Gestion Parité-MOX Palier CPY	Dose γ - 1 an			Dose β - 1 an		
	Méthode actuelle ENTERP080214 A	Méthode 1	Méthode 2	Méthode actuelle ENTERP080214 A	Méthode 1	Méthode 2
Point n°1 <i>6 m au-dessus du plancher de service</i>	13	16 20%	14 8%	67	83 24%	74 10%
Point n°2 <i>1 m au-dessus du plancher de service</i>	21	27 26%	24 14%	67	83 24%	74 10%
Point n°3 <i>Au contact de l'eau du plancher de service</i>	25	32 28%	28 14%	67	83 24%	74 10%
Point n°4 <i>1 m au-dessus du plancher (espace annulaire)</i>	36	47 29%	41 14%	14	17 21%	16 12%
Point n°5 <i>Dans l'eau du plancher (espace annulaire)</i>	89	116 30%	103 15%	12	16 33%	14 17%
Point n°6 <i>1 m au-dessus de l'eau du puisard</i>	47	61 30%	54 15%	14	17 21%	16 12%
Point n°7 <i>Dans l'eau des puisards</i>	126	164 30%	145 15%	12	16 33%	14 17%

Tableau 23 : Parité MOX : Doses γ et β maximales intégrées en APRP en 12 mois

Gestion ALCADE Palier N4	Dose γ - 1 an			Dose β - 1 an		
	Méthode actuelle ENTERP080214 A	Méthode 1	Méthode 2	Méthode actuelle ENTERP080214 A	Méthode 1	Méthode 2
Point n°1 <i>6 m au-dessus du plancher de service</i>	10	14 44%	10 4%	61	81 33%	63 2%
Point n°2 <i>1 m au-dessus du plancher de service</i>	15	22 48%	16 5%	61	81 33%	63 2%
Point n°3 <i>Au contact de l'eau du plancher de service</i>	17	25 48%	18 5%	61	81 33%	63 2%
Point n°4 <i>1 m au-dessus du plancher (espace annulaire)</i>	30	45 50%	32 5%	13	16 26%	13 -2%
Point n°5 <i>Dans l'eau du plancher (espace annulaire)</i>	55	83 51%	58 5%	8	12 50%	9 6%
Point n°6 <i>1 m au-dessus de l'eau du puisard</i>	39	58 48%	41 4%	13	16 26%	13 -2%
Point n°7 <i>Dans l'eau des puisards</i>	83	126 51%	87 5%	8	12 50%	9 6%

Tableau 24 : ALCADE : Doses γ et β maximales intégrées en APRP en 12 mois

Conclusion : Il est à noter que malgré l'application de la méthode 1 contribuant aux écarts les plus élevés avec la méthode actuelle, sur les gestions CYCLADES, Parité-MOX et ALCADE, la gestion GALICE reste la gestion enveloppe pour les calculs de doses en situation d'accident de dimensionnement sur le parc.

7.2 EPR

L'étude d'impact de la méthode sur EPR a été effectuée en comparant les résultats à ceux exposés dans les notes [28] et [29] donnant les valeurs maximales de dose intérieur BR et les doses intégrées par les traversées électriques en APRP.

Ces résultats sont donnés à titre indicatif. **La nouvelle méthode a été appliquée à la première gestion EPR, alors que les calculs précédents ont été effectués avec la gestion MOX EPR 18 mois. La comparaison s'en trouve donc nécessairement faussée.**

En APRP, seulement 10% de ruptures de gaines sont considérées, seul le calcul de l'inventaire cœur pénalisant est donc considéré. La sensibilité s'effectue sur la répartition des ruptures de gaines : uniformément réparties ou sur les assemblages les plus usés. Les résultats sont les suivants :

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

		Rayonnement gamma (hors revêtement mince) Dose kGy					
		Note [28]	Nouvelle méthode 10% RG homogène			Nouvelle méthode 10% RG pénalisant	
Doses accidentelles calculées	1 heure	Volume supérieur	0.3	0.30	-13.2%	0.39	14%
		Puisards (eau)	0.1	0.11	-13%	0.15	14%
	1 jour	Volume supérieur	2.4	2.0	-15%	3.7	54%
		Puisards (eau)	0.9	0.7	-15%	1.4	56%
	1 an	Volume supérieur	83	70	-15%	165	99%
		Puisards (eau)	39	33	-15%	79	100%

Tableau 25 : Doses gamma maximales intérieur BR en APRP sur EPR

	ENTERP080168A	Nouvelle méthode 10% RG homogène		Nouvelle méthode 10% RG pénalisant	
Dose gamma à 1 an (kGy)	11	9	-15.3%	21	95%
Dose beta à 1 an (kGy)	36	31	-14.4%	57	58%

Tableau 26 : Doses intégrées par les traversées électriques du BR de l'EPR en APRP

Grâce à la différence de gestion entre les calculs déjà réalisés et la gestion sur laquelle la nouvelle méthode a été appliquée, la nouvelle méthode n'est pas pénalisante lorsqu'on conserve la répartition homogène des ruptures de gaine. La répartition pénalisante des ruptures de gaines donne des doses d'ambiance beaucoup plus importantes, qui peuvent remettre en cause les doses standard associées. Quant aux traversées électriques, la répartition pénalisante serait problématique pour leur qualification à l'irradiation, qui est actuellement prévue à 50 kGy.

8. Impact sur les conséquences radiologiques

L'impact sur les conséquences radiologiques pour les accidents avec ruptures de gaines est déterminé ci-dessous à partir des ratios déterminés au chapitre 6 et des notes d'évaluations des conséquences radiologiques des paliers CP0/CPY, N4 et d'EPR [30], [31], [32]. Ces notes fournissant la dose par radionucléide, le ratio déterminé dans le §6 est appliqué (le ratio moyen étant appliqué aux radionucléides ne contribuant quasiment pas à la dose). Il est à noter que les dernières évaluations des conséquences radiologiques (VD3900, VD1N4 et RDS EPR) ont été réalisées sur la base d'un recueil d'hypothèses commun, post GP 2006. Les évaluations de P4 et P'4 (VD2 1300) étant basées sur un recueil d'hypothèses non mis à jour (antérieur à GP 2006), l'impact attendu pour VD3 1300 n'est évalué que pour l'accident le plus pénalisant, l'APRP4, qui a fait l'objet d'une réévaluation [33].

L'impact de l'application de la nouvelle méthode avec répartition uniforme (méthode 1) ou pénalisante des ruptures est évalué ci-après. La méthode 2 n'est pas évaluée dans ce paragraphe. Les pourcentages traduisent l'écart avec les valeurs actuelles. Les doses sur fond vert respectent à la fois les critères actuels ainsi que d'éventuels futurs critères sur le Parc plus contraignants (valeurs EPR). Les doses sur fond jaune traduisent un respect des seuls critères Parc actuels.

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

8.1 Accident dimensionnant : APRP (Parc), manutention combustible (EPR)

APRP 4	Doses CT en mSv				
	CP0	CPY	N4	P4/P'4	EPR
méthode actuelle					
efficace	4,90	4,60	3,10	4,50	0,21
thyroïde	57,00	42,20	23,00	34,20	1,55
nouvelle méthode - répartition uniforme					
efficace	7,38 51%	7,36 60%	5,54 79%	5,85 30%	0,29 37%
thyroïde	85,92 51%	68,79 63%	41,69 81%	46,44 36%	2,27 47%
nouvelle méthode - répartition pénalisante					
efficace	12,93 164%	16,33 255%	10,10 226%	9,51 111%	0,52 146%
thyroïde	150,63 164%	151,25 258%	76,41 232%	75,77 122%	4,14 167%
limites de dose :					
efficace	50				10
thyroïde	450				100 (50)

8.2 Autres accidents

Manut. Combustible	Doses CT en mSv				
	CP0	CPY	N4	P4/P'4	EPR
méthode actuelle					
efficace	3,00	1,34	0,83	ND	1,02
thyroïde	38,00	0,42	0,24	ND	0,10
nouvelle méthode					
efficace	2,68 -11%	1,23 -9%	0,82 -2%	ND	1,03 1%
thyroïde	33,55 -12%	0,39 -7%	0,23 -5%	ND	0,10 5%
limites de dose :					
efficace	50				10
thyroïde	450				100 (50)

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Retrait de grappes	Doses CT en mSv				
	CP0	CPY	N4	P4/P'4	EPR
méthode actuelle					
efficace	0,09	0,11	0,10	ND	0,23
thyroïde	0,38	0,50	0,43	ND	1,3
nouvelle méthode - répartition uniforme					
efficace	0,14	0,17	0,18	ND	0,32
	56%	62%	88%		38%
thyroïde	0,57	0,82	0,77	ND	1,90
	51%	63%	81%		46%
nouvelle méthode - répartition pénalisante					
efficace	0,23	0,55	0,31	ND	0,56
	158%	420%	223%		144%
thyroïde	1,00	2,75	1,41	ND	3,45
	164%	449%	232%		166%
limites de dose : efficace thyroïde	10 100				10 100 (50)

Rotor bloqué	Doses CT en mSv				
	CP0	CPY	N4	P4/P'4	EPR
méthode actuelle					
efficace	0,18	0,21	0,19	ND	0,23
thyroïde	0,76	1,00	0,85	ND	1,3
nouvelle méthode - répartition uniforme					
efficace	0,28	0,34	0,36	ND	0,32
	56%	62%	88%		38%
thyroïde	1,15	1,63	1,54	ND	1,90
	51%	63%	81%		46%
nouvelle méthode - répartition pénalisante					
efficace	0,46	1,09	0,61	ND	0,56
	158%	420%	223%		144%
thyroïde	2,00	5,49	2,82	ND	3,45
	164%	449%	232%		166%
limites de dose : efficace thyroïde	50 450				10 100 (50)

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

Ejection grappe	Doses CT en mSv				
	CP0	CPY	N4	P4/P'4	EPR
méthode actuelle					
efficace	1,40	1,30	0,96	ND	0,36
thyroïde	13,22	8,02	4,70	ND	1,34
nouvelle méthode - répartition uniforme					
efficace	2,12 51%	2,07 59%	1,73 80%	ND	0,49 36%
thyroïde	19,93 51%	13,07 63%	8,52 81%	ND	1,97 46%
nouvelle méthode - répartition pénalisante					
efficace	3,68 163%	7,16 450%	3,11 224%	ND	0,86 140%
thyroïde	34,96 164%	44,14 450%	15,62 232%	ND	3,57 166%
limites de dose :					
efficace	50				10
thyroïde	450				100 (50)

8.3 Synthèse de l'impact radiologique

Les gestions les plus sensibles à l'application de la nouvelle méthode d'élaboration des Inventaires cœur sont les gestions ALCADE (N4), CYCLADES (CP0) et PARITE MOX (CPY). L'impact radiologique est le suivant :

- nouvelle méthode avec répartition uniforme (méthode 1): augmentation des doses comprises entre 50% et 90% (sauf pour cas particulier de l'accident de manutention combustible : diminution des doses de quelques %),
- nouvelle méthode avec répartition pénalisante : augmentation des doses d'un facteur 2 à 5.

L'impact sur EPR est de l'ordre de 40% (sauf pour le cas particulier de l'accident de manutention combustible : faible augmentation des doses de quelques %) pour la méthode avec répartition uniforme et de l'ordre de 150% pour la méthode avec répartition pénalisante .

Enfin, l'impact sur l'APRP4 du 1300 MWe est respectivement d'environ 30% et 100%. Pour les autres accidents (non réévalués à ce jour) un impact inférieur aux autres paliers est attendu.

Ces nouvelles méthodes ne conduisent pas à un dépassement des limites radiologiques actuelles. Des critères plus stricts (comme sur EPR) seraient par contre dépassés en APRP sur le Parc. Néanmoins, bien que le cas de base retenu sur le Parc pour l'APRP soit une répartition uniforme, une sensibilité à une répartition pénalisante doit tout de même être réalisée. Ainsi, même avec la méthode actuelle, des critères radiologiques plus stricts ne pourraient pas être respectés lors des études de sensibilité (voire dans le cas de référence pour CP0).

9. Conclusion

La méthode proposée dans cette note permet d'évaluer pour chaque palier (EPR, N4, 1300, CPY et CP0) les activités en produits de fission susceptibles d'être relâchés en cas d'accident avec rupture de gaines (hors accident grave) survenant à tout instant du cycle de fonctionnement. Ces résultats

Activités enveloppes relâchées du cœur : impact sur les calculs de conséquences radiologiques et de qualification des matériels

servent de données d'entrées aux calculs de qualification des matériels aux situations accidentelles et à l'évaluation des conséquences radiologiques des accidents.

3 étapes de calcul sont nécessaires :

1. Evaluer l'inventaire cœur, i.e. la quantité de produits de fission présente dans le combustible à l'instant de l'accident. La méthode proposée pour le calcul des inventaires cœurs répond à l'action n°6 prise par EDF lors du GP conséquences radiologiques du 25 juin 2009 (cf. courrier [2]). Pour chaque palier, une gestion combustible pénalisante est retenue et l'impact des nouveaux inventaires cœur sur les études de qualification et de conséquences radiologiques est évalué.
2. Evaluer les taux de relâchement d'un crayon rompu : Les taux de relâchement dépendent du taux de combustion du crayon combustible et ont été élaborés sur la base de résultats expérimentaux. La modification de ces taux de relâchement n'est pas à l'ordre du jour, en raison de l'absence de gain identifié sur ceux-ci. Pour appliquer ces taux de relâchements à un lot d'assemblage, il est proposé de se baser sur le taux de combustion maximum du lot. Ceci revient à considérer que ce sont les crayons les plus pénalisants de chaque lot qui se rompent.
3. Evaluer le nombre de crayons dont la gaine est susceptible de se rompre. Il s'agit du taux de ruptures de gaines, propres à chaque accident. La modification des taux de ruptures de gaines n'est pas à l'ordre du jour. Suite au GP de juin 2009, l'ASN demande à EDF de considérer que les ruptures de gaines affectent les crayons les plus pénalisants du cœur. Il est cependant proposé de rester sur une répartition uniforme des ruptures de gaines sur tous les lots d'assemblage. L'impact de la demande ASN sur les études de conséquences radiologiques et de qualification est évalué (méthode « pénalisante »), et sera présenté dans les études de conséquences radiologiques du Parc.

Du point de vue des conséquences radiologiques, les répartitions uniforme et « pénalisante » des ruptures de gaines ne conduisent pas à un dépassement des limites radiologiques actuelles. Des critères plus stricts (comme ceux de EPR) seraient par contre dépassés en APRP sur le Parc, notamment en supposant une répartition pénalisante des ruptures de gaines telle que demandée par l'ASN. Cependant, un tel dépassement des critères EPR existe déjà pour les études CP0 actuelles.

Du point de vue de la qualification des matériels hors EPR, la gestion GALICE, qui n'est pas impactée par la nouvelle méthode, reste la gestion enveloppe pour les calculs de doses en situation d'accident de dimensionnement. Hors EPR, les études de qualification supposent 100% de rupture de gaines, la méthode « pénalisante » n'a pas lieu d'être.

Du point de vue de la qualification des matériels sur EPR, l'étude d'impact est biaisée : les études actuelles reposent sur la gestion MOX 18 mois, la méthode proposée a été mise en œuvre sur la première gestion EPR UO₂. Les calculs actuels avec la première gestion EPR restent enveloppes de la nouvelle méthode avec une répartition uniforme des ruptures de gaines. La répartition pénalisante des ruptures de gaines donne des doses beaucoup plus importantes, qui peuvent remettre en cause les doses standard associées. Quant aux traversées électriques, la répartition pénalisante serait problématique pour leur qualification à l'irradiation, qui est actuellement prévue à 50 kGy.

Rester sur une répartition uniforme des ruptures de gaine implique de fait une non prise en compte de la demande D2 de l'ASN, et devrait s'accompagner d'un argumentaire à opposer à l'ASN sur la nature et le nombre de crayons rompus en situation accidentelle. L'avis de la division PR est nécessaire sur ce point.

La RT SEPTEN du 6 avril 2010 a validé :

- la méthode proposée ci-dessus : méthode 1, répartition homogène des ruptures de gaines et étude de sensibilité à une répartition pénalisante présentée dans le rapport de sûreté pour les conséquences radiologiques.
- avec une mise en application sur le Parc à échéance de la VD3 1300 et un maintien du référentiel actuel pour EPR, avec une étude de sensibilité interne à la nouvelle méthode.