

Fontenay-aux-Roses, le 23 mai 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

**Avis/IRSN N°** 2016-00163

**Objet :** EDF - Tous paliers

Nouveau référentiel d'étude de l'accident par perte de réfrigérant primaire (APRP)  
Nouvelle méthode statistique étendue APRP BI

**Réf.**

1. Courrier ASN CODEP-DCN-2015-022802 du 25 juin 2015.
2. Courrier ASN CODEP-DCN-2014-032737 du 24 juillet 2014.

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la nouvelle méthode proposée par EDF pour l'étude de l'accident par perte de réfrigérant primaire (APRP) suite à une brèche intermédiaire.

### Contexte

Le référentiel d'étude de l'accident par perte de réfrigérant primaire en vigueur en France pour les réacteurs à eau sous pression (REP) est issu de la réglementation américaine 10 CFR 50.46 datant de 1974. L'évolution des connaissances, des conditions d'exploitation des réacteurs et des combustibles utilisés a incité l'IRSN à engager des réflexions sur les évolutions à apporter à ce référentiel d'étude. Les orientations à retenir ont fait l'objet d'une instruction de l'IRSN et d'une réunion du groupe permanent d'experts pour les réacteurs (GPR) en mai 2010. EDF a ensuite proposé une révision de ce référentiel principalement basée sur trois évolutions :

- les caractéristiques de brèches retenues pour les études d'APRP ;
- les critères garantissant la refroidissabilité du combustible ;
- la prise en compte des phénomènes physiques liés au comportement du combustible, notamment les phénomènes de ballonnement-éclatement des gaines et de relocalisation des fragments de pastilles de combustible.

Par ailleurs, dans ce cadre, EDF a présenté les principes de la nouvelle méthode d'étude pour les transitoires d'APRP qui sera mise en œuvre avec ce nouveau référentiel.

**Adresse courrier**  
BP 17  
92262 Fontenay-aux-Roses  
Cedex France

**Siège social**  
31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Standard +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

Ce dernier a fait l'objet d'une instruction par l'IRSN et d'une réunion du GPR en avril 2014. L'ASN a ensuite informé EDF, par la lettre en référence [2], de sa position sur celui-ci ainsi que sur les principes de la nouvelle méthode associée. Plus particulièrement, concernant la nouvelle méthode, « *l'ASN considère que [EDF doit] apporter des éléments de validation des choix de modélisation retenus de manière à démontrer le conservatisme des études. Par ailleurs, l'ASN considère que, même si le traitement statistique des incertitudes des paramètres d'entrée des études constitue une amélioration pour la détermination de valeurs conservatives des paramètres cibles, il conviendra de préserver certains cumuls déterministes afin de maintenir le caractère conservatif de la démonstration de sûreté* ». Dans ce contexte, l'ASN a émis la demande D3 dans sa lettre en référence [2], visant à « *assurer le conservatisme des études de sûreté faites selon la méthode statistique en traitant les incertitudes, en particulier épistémiques, les plus influentes de manière déterministe ou par une démarche permettant de définir un intervalle de variation pénalisant.* »

EDF a transmis le dossier de la nouvelle méthode d'étude de l'APRP, nommée CathSBI (Cathare Statistique Brèches Intermédiaires), associée au nouveau référentiel. Cette nouvelle méthode a pour objectif d'évaluer les températures des gaines et leurs taux d'oxydation, à comparer aux critères de sûreté retenus pour l'APRP, en utilisant une méthode statistique. Elle remplacera la méthode déterministe réaliste actuellement utilisée dans les études de sûreté (méthode MDR).

La première application de la méthode CathSBI est prévue dans le cadre des études associées aux quatrièmes visites décennales (VD4) des réacteurs de 900 MWe.

L'ASN souhaite recueillir la « *première analyse [de l'IRSN] sur cette nouvelle méthode CathSBI ainsi que sur les éléments de réponse apportés par EDF à la demande D3 [...] afin d'identifier dès à présent les points que [l'IRSN estimerait] bloquants* ».

L'analyse de la méthode CathSBI menée par l'IRSN a porté sur les points suivants :

- A- les aspects liés aux traitements statistiques ;
- B- les aspects liés à la thermohydraulique ;
- C- les aspects liés au comportement du combustible ;
- D- une première application de la méthode CathSBI à la gestion Parité MOX.

**A- Les aspects liés aux traitements statistiques de la méthode**

La méthode CathSBI comprend un traitement statistique des paramètres associés aux conditions initiales et aux limites ainsi que des paramètres des modèles physiques du logiciel CATHARE 2. Ce traitement statistique consiste en une propagation des incertitudes associées à ces paramètres afin de déterminer la « Situation Possible Pénalisante » (SPP) couvrant les situations possibles, et donc le cas pénalisant de manière plus robuste qu'avec la méthode MDR. L'objectif est d'évaluer une valeur conservative des paramètres cibles, à savoir le pic de température de gaine et le taux d'oxydation.

## 1. Principales étapes de la méthode

La méthode comporte deux étapes principales :

- 1) la caractérisation du « scénario » pénalisant, qui repose sur une démarche de détermination des domaines de variation pénalisants des paramètres d'entrée variables en tenant compte des effets couplés, ce qui permettra de pénaliser le résultat de la phase ultérieure de propagation des incertitudes ;
- 2) la détermination des incertitudes associées aux paramètres cibles pour ce « scénario » pénalisant : elle consiste en une identification et une propagation des incertitudes des paramètres d'entrée incertains (fixes et affectés d'incertitudes aléatoires ou épistémiques) permettant la détermination d'une valeur conservative des paramètres cibles avec un niveau de confiance élevé.

L'IRSN estime que le déroulement de ces deux étapes, qui permet notamment de considérer tous les paramètres (variables ou incertains) et de tenir compte des effets potentiellement couplés entre ces paramètres, constitue une avancée notable par rapport à la méthode actuellement en vigueur.

EDF a de plus introduit une étape préliminaire afin de tenir compte de la demande D3 émise par l'ASN (référence [2]) et de garantir le conservatisme de la démonstration de sûreté en appliquant un traitement spécifique aux paramètres les plus influents.

## 2. Classement des paramètres

Lors de l'application de la méthode CathSBI un classement des paramètres d'entrée est réalisé en fonction de leur nature (variable ou incertain). Ce classement permet de déterminer le traitement, statistique ou déterministe, appliqué à chaque paramètre considéré. Lors de l'instruction, des questions ont été soulevées sur le classement de certains paramètres, d'où la **recommandation n°1** formulée en annexe.

## 3. Démarche de détermination des domaines de variation pénalisants des paramètres d'entrée variables

L'IRSN estime appropriés l'objectif retenu par EDF et les principes de la démarche de détermination des domaines de variation pénalisants. La justification de la robustesse des résultats issus de cette démarche a nécessité des compléments apportés par EDF lors de l'instruction. L'IRSN considère ces éléments pertinents et estime qu'EDF devrait intégrer dans le dossier de méthode les principes de la justification de la robustesse de cette démarche et présenter dans les études d'application les résultats correspondants.

EDF a prévu un test supplémentaire<sup>1</sup> lorsque la démarche ne permet pas d'identifier clairement les domaines de variation pénalisants des paramètres d'entrée variables. L'IRSN estime que la taille de l'échantillon et l'indicateur retenus (température moyenne de la gaine de combustible) dans ce test

---

<sup>1</sup> Le test supplémentaire consiste à confronter plusieurs domaines de variation pénalisants possibles, à partir de séries, de tailles fixées, de résultats de calcul

supplémentaire ne permettent pas d'assurer un niveau de robustesse suffisant, d'où les **recommandations n° 2 et 3** en annexe.

#### 4. Détermination et propagation des incertitudes

Les paramètres d'entrée affectés d'incertitudes sont tirés aléatoirement en considérant des lois de probabilité, appelées incertitudes de base. Certaines incertitudes de base sont déterminées par des algorithmes mathématiques complexes à partir de résultats d'essais analytiques<sup>2</sup>. Ces essais sont simulés dans des conditions différentes de celles du cas d'application : à titre d'exemple, EDF applique des incertitudes déterminées en géométrie monodimensionnelle à une géométrie tridimensionnelle sans justification particulière. L'IRSN estime que l'applicabilité des incertitudes retenues dans la méthode doit être justifiée lorsqu'elles ont été déterminées dans des conditions différentes du cas d'application, d'où la **recommandation n° 4** en annexe.

L'IRSN a constaté que l'application de la démarche décrite ci-dessus conduit, dans certains cas, à des intervalles d'incertitude associés aux modèles du logiciel CATHARE 2 qui sont biaisés (c'est-à-dire que ces intervalles d'incertitude ne sont pas centrés sur les valeurs « nominales » des modèles implantés dans le logiciel). Ces biais sont potentiellement révélateurs d'une démarche de détermination des incertitudes inadaptée, d'un manque de représentativité de l'essai associé ou de limites dans la validation des modèles du logiciel CATHARE 2. De ce fait, l'IRSN estime qu'EDF doit vérifier que la prise en compte dans les études des valeurs nominales du paramètre retenues pour la validation du logiciel ne conduirait pas à une valeur plus pénalisante des paramètres cibles, d'où la **recommandation n° 5** en annexe.

La propagation des incertitudes mise en œuvre dans la méthode CathSBI consiste à réaliser des simulations à l'aide du logiciel CATHARE 2 pour des jeux de valeurs des paramètres d'entrée résultant d'un tirage de Monte-Carlo sur les paramètres affectés d'incertitudes. Ces paramètres peuvent être tirés aléatoirement de manière couplée ou découplée, ce qui aura un impact sur les résultats des études. Le dossier de méthode ne fait pas apparaître clairement si les tirages sont réalisés de manière couplée ou découplée et ces choix ne sont pas justifiés. Ce constat conduit à la **recommandation n° 6** en annexe.

#### 5. Traitement spécifique pour les paramètres les plus influents

Afin de répondre à la demande D3 précitée de l'ASN, EDF a proposé une démarche afin d'identifier les paramètres d'entrée potentiellement influents, de les hiérarchiser puis, pour les plus influents vis-à-vis de la température de gaine du crayon chaud, de leur appliquer une pénalisation. Le mode de pénalisation retenu par EDF consiste à tronquer la loi de probabilité initiale du paramètre considéré en ne gardant comme valeurs possibles que celles plus pénalisantes que la valeur moyenne. L'IRSN estime que ce mode de pénalisation n'apporte pas un niveau de conservatisme suffisant et ne répond pas à la demande D3 de l'ASN : en conséquence, il estime qu'EDF devra traiter les incertitudes

---

<sup>2</sup> Essais élémentaires permettant d'évaluer individuellement chaque phénomène, ou du moins d'étudier des effets séparés en essayant de limiter l'influence d'autres phénomènes.

épistémiques les plus influentes de manière déterministe ou par une démarche donnant un poids renforcé au domaine de variation pénalisant.

Par ailleurs, EDF ne définit pas de critère de sélection des paramètres les plus influents. Dans le cas d'application, seuls deux paramètres sont retenus sur la base d'une analyse d'impact sur la température de gaine : la puissance résiduelle et la pression interne du crayon de combustible. L'IRSN estime que l'impact sur la température de gaine des deux paramètres retenus n'est pas suffisant pour exclure un impact significatif d'autres paramètres. L'IRSN estime qu'EDF doit définir une démarche de sélection des paramètres les plus influents, ce qui conduit à la **recommandation n° 7** en annexe.

#### **B- Les aspects liés à la thermohydraulique**

EDF propose des évolutions de la modélisation du circuit primaire dans le logiciel CATHARE 2 par rapport à celle retenue dans la méthode MDR, notamment pour ce qui concerne :

- la modélisation du cœur et de la descente annulaire de la cuve avec le module tridimensionnel (3D) de CATHARE 2

L'utilisation du module 3D du logiciel CATHARE 2 dans la simulation de la thermohydraulique du réacteur constitue une nouveauté de la méthode CathSBI. Ce module permet, selon EDF, de mieux rendre compte des écoulements multidimensionnels dans le cœur et la descente annulaire.

L'IRSN souligne que les écoulements 3D calculés pendant les transitoires d'APRP BI, en particulier les écoulements diphasiques transverses en partie dénoyée du cœur, ont un effet significatif sur la température de gaine et ne sont pas validés par des essais expérimentaux représentatifs des conditions rencontrées en APRP BI. Le caractère conservatif de la modélisation retenue n'est donc pas démontré. À cet égard, EDF a annoncé la réalisation de programmes expérimentaux ayant pour objectif de valider le calcul des écoulements transverses dans le cœur ou de compléter la validation du module 3D de CATHARE 2 vis-à-vis des phénomènes physiques dans la descente annulaire en situation d'APRP BI. Toutefois, l'échéance pour la réalisation de ces essais et leur exploitation ne permettra pas d'apporter les éléments nécessaires avant la première application de la méthode CathSBI pour les VD4 des réacteurs de 900 MWe, d'où la **recommandation n° 8** en annexe ;

- la modélisation du plenum inférieur de la cuve, du bipasse du cœur et des guides de grappe

EDF a retenu des choix de modélisation différents pour certains éléments du circuit primaire dans la méthode CathSBI par rapport à la méthode MDR. En fin d'instruction, EDF a apporté des justifications concernant ces nouveaux choix de modélisation : ces éléments sont de nature à répondre aux demandes de l'IRSN et feront l'objet d'une analyse ultérieure ;

- la modélisation des accumulateurs

EDF prévoit de retenir une modélisation des accumulateurs représentant l'ensemble du système (capacité et ligne) dans le logiciel CATHARE 2 et non le modèle simplifié (modèle « point ») actuellement utilisé dans la méthode MDR. L'IRSN estime que la validation de la modélisation des accumulateurs dans le logiciel CATHARE 2 est incomplète, notamment pour les situations de grosses brèches intermédiaires. Ce constat conduit à la **recommandation n° 9** en annexe.

### C- Les aspects liés au comportement du combustible

EDF prend en compte certains phénomènes physiques liés au comportement du combustible actuellement non modélisés dans la méthode MDR. Ces évolutions constituent une nouveauté de la méthode et sont conformes au nouveau référentiel APRP.

La modélisation du comportement du combustible en APRP est réalisée en tenant compte des phénomènes physiques suivants :

- le ballonnement-éclatement du crayon combustible ;
- la déformation « coplanaire<sup>3</sup> » des crayons ;
- le bouchage des canaux entre les crayons ;
- les échanges thermiques entre les crayons et le fluide dans la zone de bouchage et la réduction du périmètre d'échange en raison du contact entre les crayons voisins,
- l'oxydation transitoire de la gaine des crayons ;
- la relocalisation du combustible dans la zone ballonnée-éclatée.

Pour chaque phénomène cité, les modèles et le traitement statistique des paramètres concernés ont fait l'objet d'une analyse de l'IRSN.

Au cours de l'instruction technique, EDF a annoncé que la modélisation du phénomène de gonflement-éclatement des gaines évoluerait pour les études VD4 900 : une nouvelle modélisation est en cours de développement, nécessitant la réalisation et l'interprétation de nouveaux essais qui ont pour objectif d'étendre le domaine de validité de ces modèles aux basses températures et d'optimiser la modélisation (notamment le critère de rupture) pour les conditions rencontrées pendant les brèches intermédiaires (plus faibles vitesses de montée en température que pour les grosses brèches). L'instruction technique de l'IRSN portant sur la validation de ce modèle et sur la pertinence des lois de probabilité et des intervalles de variation des paramètres sera donc à réaliser dans le cadre des études VD4 900.

Au cours d'un transitoire d'APRP, le ballonnement et l'éclatement des différents crayons ont lieu à différentes cotes axiales. Un coefficient dit de non-coplanarité est introduit dans la méthode pour tenir compte de cet effet et ainsi évaluer une déformation « coplanaire » équivalente utilisée pour évaluer le taux de bouchage, la réduction du périmètre d'échange avec le fluide et modéliser les effets de la relocalisation du combustible. La démarche d'estimation des déformations coplanaires des crayons n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

Concernant le phénomène de bouchage des canaux, la modélisation a évolué dans la méthode CathSBI par rapport à la méthode MDR pour tenir compte de la longueur des ballons, ce qui constitue une amélioration notable. La démarche de modélisation développée par EDF est acceptable. EDF propose un tirage statistique de la longueur des ballons selon une loi uniforme dans un intervalle de variation

---

<sup>3</sup> Déformation moyenne d'un groupe de crayons de combustible à une élévation axiale donnée

limité en valeur maximale à 20 cm. L'IRSN constate que des résultats d'essais montrent des déformations de gaine supérieures à 30 % sur une longueur de plus de 30 cm. À cet égard, l'IRSN souligne l'impact important de la longueur des ballons sur la température de gaine (augmentation de 250 °C pour une longueur de ballon passant de 18 à 30 cm). EDF a indiqué que les distributions axiales de puissance retenues dans les études APRP sont très « piquées », ce qui limite l'extension axiale du ballon. L'IRSN souligne toutefois que la méthode CathSBI se caractérise par des distributions de puissance nettement moins piquées que celles retenues dans la méthode MDR (de l'ordre de 15 % de moins). En conséquence, l'IRSN estime que les hypothèses retenues par EDF concernant la longueur des ballons ne sont pas satisfaisantes, ce qui conduit à la **recommandation n° 10** en annexe.

Dans le cadre de la méthode CathSBI, EDF a développé une nouvelle modélisation prenant en compte l'effet des contacts entre les crayons sur les échanges thermiques et sur la cinétique d'oxydation des gaines. L'introduction de ce nouveau modèle constitue une avancée notable de modélisation du comportement du combustible en APRP et n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

La relocalisation du combustible se caractérise par une augmentation de la quantité de fragments de pastilles de combustible dans la zone ballonnée-éclatée. Pour la méthode CathSBI, EDF a implémenté dans le logiciel CATHARE 2 des modèles pour simuler son effet sur la température de gaine. Ces modèles permettent notamment de déterminer une conductivité thermique équivalente des fragments de pastille relocalisés, une taille de jeu résiduel entre les fragments de pastille et la gaine et une puissance linéique du combustible relocalisé :

- un paramètre important de ces modèles est la taille des fragments de combustible relocalisés. EDF a retenu, sur la base de résultats d'essais, un traitement statistique de ce paramètre. L'IRSN constate que peu d'essais existent dans le domaine de taux de combustion autorisé pour le parc en exploitation. De plus, l'IRSN souligne que la borne maximale retenue pour l'intervalle de variation semble peu plausible compte tenu de la fragmentation constatée en fonctionnement normal. En conséquence, l'IRSN émet la **recommandation n° 11** en annexe ;
- EDF a retenu une corrélation issue d'essais analytiques pour modéliser les échanges thermiques au sein des fragments de pastille relocalisés et tient compte par ailleurs de l'effet de résistance thermique dû au jeu existant entre ces fragments et la gaine. L'IRSN estime qu'EDF doit vérifier l'applicabilité de cette corrélation, d'où la **recommandation n° 12** en annexe ;
- EDF a modélisé le taux de remplissage des ballons en fonction de la déformation du crayon ballonné-éclaté et retient une loi de distribution du taux de remplissage basée sur des résultats d'essais. L'IRSN estime que le caractère conservatif de la loi retenue n'est pas acquis compte tenu du faible nombre de données expérimentales disponibles, d'où la **recommandation n° 13** en annexe.

#### **D- Première application de la méthode CathSBI à la gestion Parité MOX**

Dans le cadre de l'instruction de la méthode CathSBI, EDF a transmis un cas d'application relatif au palier CPY en gestion de combustible Parité MOX et des études de sensibilité. Ces études montrent une forte sensibilité de la température de gaine aux paramètres d'entrée, apparaissant à partir de 750-800 °C : dans cette gamme de température, les phénomènes relatifs au comportement du combustible (ballonnement des gaines conduisant au bouchage, relocalisation du combustible suite à l'éclatement des gaines, mise en contact des gaines conduisant à la réduction du périmètre d'échange entre la gaine et le fluide) se déclenchent et leurs effets cumulés conduisent dans les études avec la méthode CathSBI à une forte augmentation de la température de gaine (350 à 500 °C). Compte tenu de cette forte sensibilité aux paramètres d'entrée dans cette zone de température, il sera difficile de conclure avec un haut niveau de confiance sur le respect du critère de sûreté (1204 °C) pour des études d'APRP atteignant des températures de gaine supérieures à 800 °C.

EDF considère que cet « effet falaise » observé dans ces études est en grande partie lié aux modélisations très conservatives des phénomènes physiques post-ballonnement et éclatement retenues pour la méthode CathSBI et à leur cumul. En fin d'instruction, EDF a présenté des voies de modifications potentielles qui permettraient de relaxer des conservatismes et de s'éloigner de cet « effet falaise ». En l'état actuel des connaissances, l'IRSN ne partage pas la position d'EDF sur le caractère conservatif de certains choix de modélisation et souligne que la prise en compte des recommandations formulées dans le cadre présent de l'analyse pourrait au contraire amplifier l'impact des phénomènes physiques liés au comportement du combustible en APRP sur la température de gaine. En conséquence, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF examine dès à présent, en complément de modifications méthodologiques, la faisabilité de modifications matérielles ou de conditions d'exploitation permettant d'aboutir à une démonstration de sûreté probante pour les études d'APRP qui seront réalisées dans le cadre du réexamen VD4 900, ce qui conduit à la **recommandation n° 14** en annexe.

EDF a prévu de mettre en œuvre le nouveau référentiel APRP et la méthode CathSBI pour les réacteurs des paliers 1300 MWe et N4 à l'occasion des VD4 1300 et des VD3 N4. Compte tenu de l'impact important sur la température de gaine (350 à 500 °C pour le palier CPY) dû à la prise en compte des phénomènes physiques liés au comportement du combustible en APRP, **l'IRSN estime nécessaire qu'EDF évalue l'impact de ces phénomènes sur les paliers 1300 MWe et N4 et, le cas échéant, propose un cadre de traitement adapté.**

#### **Conclusion**

EDF a transmis la nouvelle méthode d'étude de l'APRP (CathSBI) associée au nouveau référentiel. Elle a pour objectif d'évaluer les températures de gaine et leur taux d'oxydation, à comparer aux critères de sûreté retenus, en utilisant une méthode statistique et le logiciel CATHARE 2. La première application de cette nouvelle méthode est prévue dans le cadre des études associées aux quatrièmes visites décennales (VD4) des réacteurs de 900 MWe.

Cette nouvelle méthode repose aussi sur des évolutions de la modélisation du circuit primaire dans le logiciel CATHARE 2 et prend en compte certains phénomènes physiques liés au combustible



actuellement non modélisés dans la méthode MDR, notamment les phénomènes de ballonnement-éclatement des gaines et de relocalisation du combustible.

Au vu des réserves formulées ci-dessus concernant le traitement statistique ainsi que la modélisation du circuit primaire et du comportement du combustible, l'IRSN estime que la nouvelle méthode présentée par EDF n'est pas acceptable en l'état. Cette méthode devra faire l'objet de révisions et de justifications complémentaires, en prenant en compte les recommandations figurant en annexe, afin d'aboutir à une démonstration de sûreté probante pour les études d'APRP et garantir le conservatisme des études de sûreté. L'IRSN constate que certains modèles de la méthode CathSBI (en particulier celui relatif au ballonnement-éclatement des crayons) sont encore en développement et que de nombreux éléments restent à apporter, à échéance VD4 900, pour évaluer les incertitudes associées.

Par ailleurs, les études d'application transmises dans le cadre cette instruction montrent une forte sensibilité de la température de gaine aux paramètres d'entrée, apparaissant à partir de 750 °C - 800 °C, du fait de l'activation, dans cette gamme de température, de phénomènes physiques relatifs au comportement du combustible (ballonnement-éclatement des gaines, relocalisation du combustible, réduction de la surface d'échange). En l'état actuel des éléments transmis par EDF et compte tenu de la forte sensibilité aux paramètres d'entrée constatée dans la méthode proposée, l'IRSN estime qu'il est difficile de conclure avec un haut niveau de confiance à la refroidissabilité du combustible pour des études d'APRP conduisant à des températures de gaine supérieures à 800 °C.

Pour le directeur général et par délégation  
Sylvie CADET-MERCIER

Directrice des systèmes, des nouveaux  
réacteurs et des démarches de sûreté

Annexe à l'avis IRSN/2016-00163 du 23 mai 2016

Recommandations

**Aspects liés aux traitements statistiques**

**Recommandation n° 1**

L'IRSN recommande qu'EDF clarifie les critères de classification des paramètres d'entrée et justifie le classement de chaque paramètre d'entrée.

**Recommandation n° 2**

L'IRSN recommande qu'EDF réalise dans les études d'application un nombre suffisant de calculs lors du test supplémentaire afin d'obtenir des domaines de variation pénalisants « convergés ».

**Recommandation n° 3**

L'IRSN recommande qu'EDF définisse et justifie un critère de sélection des intervalles de variation restreints des paramètres variables s'appuyant sur les températures les plus élevées lors du test supplémentaire.

**Recommandation n° 4**

L'IRSN recommande qu'EDF identifie les incertitudes de base déterminées en retenant une modélisation des essais analytiques différente de celle du cas réacteur, justifie leur applicabilité et, le cas échéant, les réévalue.

**Recommandation n° 5**

En cas d'intervalle d'incertitude biaisé (non-centré sur la valeur nominale) sur un paramètre, l'IRSN recommande qu'EDF vérifie que ce biais ne met pas en cause le conservatisme des études.

**Recommandation n° 6**

L'IRSN recommande qu'EDF précise et justifie les niveaux de corrélation retenus sur les paramètres tirés aléatoirement.

**Recommandation n° 7**

L'IRSN recommande qu'EDF définisse une démarche de sélection des paramètres d'entrée les plus influents à pénaliser dans le cadre de la prise en compte de la demande D3 de la lettre ASN en référence [2].

**Aspects liés à la thermohydraulique**

**Recommandation n° 8**

L'IRSN recommande qu'EDF démontre, dans des délais compatibles avec les VD4 900 MWe, le caractère conservatif des modélisations du cœur et de la descente annulaire à l'aide du module 3D du logiciel CATHARE 2 pour l'ensemble du spectre de brèche couvert.

### **Recommandation n° 9**

L'IRSN recommande qu'EDF justifie la capacité de la modélisation des accumulateurs retenue à simuler la cinétique de décharge de ce composant pour tout le spectre des brèches intermédiaires.

### **Aspects liés au comportement du combustible**

#### **Recommandation n° 10**

En l'état des connaissances et compte tenu des profils axiaux de puissance retenus dans la méthode CathSBI, significativement moins « piqués » que dans la méthode en vigueur, l'IRSN recommande qu'EDF révise la loi simulant la longueur des ballons et la justifie en tenant compte des résultats d'essais montrant des déformations de gaine supérieures à 30 % sur une longueur de plus de 30 cm.

#### **Recommandation n° 11**

L'IRSN recommande qu'EDF révise la loi de distribution associée à la taille des fragments de combustible relocalisés et la justifie en tenant compte de l'état des connaissances et de considérations géométriques.

#### **Recommandation n° 12**

L'IRSN recommande qu'EDF :

- apporte des éléments de validation afin justifier l'applicabilité de la loi d'Imura-Yagi dans le cas des combustibles REP ;
- retienne une valeur du jeu entre les fragments de pastille et la gaine dans la zone ballonnée et éclatée avec relocalisation, cohérente avec l'utilisation de la corrélation d'Imura-Yagi.

#### **Recommandation n° 13**

L'IRSN recommande qu'EDF retienne une loi déterministe enveloppe reliant le taux de remplissage à la déformation du crayon ballonné-éclaté.

### **Application de la méthode CathSBI à la gestion Parité MOX**

#### **Recommandation n° 14**

Dans la mesure où la démonstration de la capacité de refroidissement du cœur lors d'un accident par perte de réfrigérant primaire n'est pas acquise à ce jour dans le cadre de l'application du nouveau référentiel d'étude de cet accident aux réacteurs du palier 900 MWe, l'IRSN recommande qu'EDF engage, dès à présent et en prévision des quatrièmes visites décennales de ces réacteurs, des analyses de modifications (matérielles ou conditions d'exploitation des réacteurs) permettant d'aboutir à une démonstration de sûreté probante pour les études d'APRP qui seront réalisées dans le cadre du réexamen VD4 900.