

Fontenay-aux-Roses, le 7 avril 2021

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2021-00051

---

**Objet :** EDF - REP - Tous paliers - Méthodologie d'estimation des incertitudes à appliquer à la puissance résiduelle des assemblages UOX et MOX.

---

**Réf. :** [1] Lettre ASN - CODEP-DCN-2020-038789 du 28 juillet 2020.  
[2] Avis IRSN - DSR-2004-247 du 7 septembre 2004.

---

Conformément à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) citée en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné l'acceptabilité au plan de la sûreté de l'utilisation pour les études de sûreté, en particulier dans le cadre des études liées au quatrième réexamen périodique des réacteurs du palier 1300 MWe (RP4 1300), de la nouvelle méthodologie d'estimation des incertitudes pour les calculs de puissances résiduelles.

### 1. CONTEXTE DE L'EXPERTISE

Dans tout réacteur nucléaire, la puissance est créée dans le cœur du fait de la fission des noyaux d'uranium ou de plutonium et maintenue par la réaction nucléaire en chaîne<sup>1</sup>. Une fois cette dernière arrêtée, le cœur continue de dégager de la puissance, appelée puissance résiduelle.

La puissance résiduelle est une donnée importante pour de nombreuses études de la démonstration de sûreté. À ce titre, son calcul fait l'objet d'une attention particulière. Cela est particulièrement vrai pour les incertitudes associées, dont l'évaluation doit permettre le dimensionnement des systèmes de protection et de sauvegarde après arrêt du réacteur avec un niveau de conservatisme satisfaisant.

Le calcul de la puissance résiduelle requiert de connaître avec précision l'inventaire en matière du cœur, les rendements de fission<sup>2</sup>, les énergies et périodes de décroissance de chaque radionucléide que l'on peut retrouver au sein du combustible irradié.

En 2019, Électricité de France (EDF) a déposé auprès de l'ASN un dossier portant sur une nouvelle méthode d'évaluation des incertitudes sur la puissance résiduelle, dans l'objectif de les utiliser pour les prochains réexamens de sûreté des réacteurs du parc en exploitation, en commençant par le RP4 1300. Cette nouvelle

---

<sup>1</sup> Chaque fission libère des neutrons qui vont à leur tour provoquer de nouvelles fissions, ce qui forme une réaction en chaîne.

<sup>2</sup> Pour chaque isotope généré lors d'une fission nucléaire, on appelle rendement de fission sa fréquence de production.

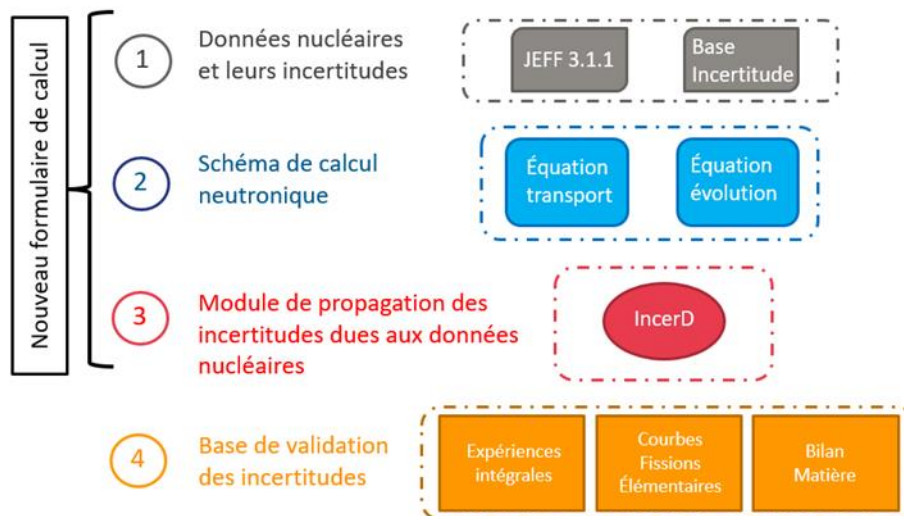
méthode permet de réduire sensiblement les incertitudes prises en compte sur la puissance résiduelle dans la démonstration de sûreté, notamment peu de temps après l'arrêt de la réaction en chaîne.

L'ASN souhaite connaître l'avis de l'IRSN au sujet de la méthode d'évaluation des incertitudes liées à l'estimation de la puissance résiduelle avec son nouveau formulaire de calcul.

L'analyse menée par l'IRSN a porté sur les points suivants :

- la démarche générale d'évaluation des incertitudes sur la puissance résiduelle par le nouveau formulaire de calcul d'EDF (§ 2) ;
- la méthode de propagation des incertitudes retenues pour l'évaluation de la puissance résiduelle (§ 3) ;
- l'actualisation des données nucléaires, valorisant des évaluations internationales récentes, et la construction de la nouvelle base de données d'incertitudes par EDF (§ 4) ;
- la suffisance des validations expérimentales en regard du domaine d'utilisation (§ 5).

La figure ci-dessous schématise la démarche retenue par EDF pour cette nouvelle méthode.



## 2. DÉMARCHE GÉNÉRALE RETENUE POUR L'ESTIMATION DES INCERTITUDES SUR LA PUISSANCE RÉSIDUELLE

Le formulaire de calcul mis en œuvre par EDF est constitué du chaînage de deux outils de calculs scientifiques (OCS) : le premier calcule l'évolution du flux neutronique en réacteur et le second l'évolution de la composition isotopique du cœur au cours de son irradiation. Ces deux outils de calculs permettent respectivement la résolution des équations de transport<sup>3</sup> et d'évolution<sup>4</sup> au cours de l'irradiation des assemblages de combustible.

L'IRSN ne formule pas de remarque sur le principe de ce calcul, qui est usuel pour l'évaluation de la puissance résiduelle. Les outils de calculs utilisés dans le nouveau formulaire sont adaptés pour le calcul du flux neutronique et des concentrations isotopiques du combustible.

<sup>3</sup> Équation de Boltzmann, qui permet de décrire la distribution en espace et en énergie des neutrons dans un réacteur, et ainsi de déterminer le flux neutronique pour un vecteur de concentrations isotopiques donné.

<sup>4</sup> Équation de Bateman, qui permet de déterminer l'évolution des concentrations isotopiques pour un niveau de flux neutronique fixé.

Néanmoins, l'IRSN relève que seules les incertitudes liées à la méconnaissance des données nucléaires (cf. § 4) sont considérées dans le calcul d'incertitude totale sur la puissance résiduelle. Or les incertitudes liées aux calculs neutroniques, induites par certaines simplifications de modélisation<sup>5</sup>, et les incertitudes dites « technologiques<sup>6</sup> » contribuent également à cette incertitude. **L'IRSN estime que ces incertitudes doivent être prises en compte pour l'évaluation de l'incertitude totale portant sur la puissance résiduelle. Ainsi, EDF prévoit de calculer l'impact de la principale simplification de modélisation sur l'évaluation de la puissance résiduelle via l'engagement n° 1 rappelé en Annexe 2. L'IRSN estime cet engagement satisfaisant dans le principe. En tout état de cause, la prise en compte de ces incertitudes est présentée de manière globale au § 5.2 de cet avis.**

### 3. MÉTHODE DE PROPAGATION DES INCERTITUDES

Dans le nouveau formulaire de calcul, la propagation des différentes incertitudes, dues aux données nucléaires, sur l'évaluation de la puissance résiduelle est réalisée par un module nommé « IncerD ». Les incertitudes (cf. § 4) sont propagées de manière déterministe avec une méthode de cumul quadratique.

Dans ce cadre, EDF retient deux hypothèses simplificatrices structurantes dans la méthode de propagation des incertitudes. La validité de ces deux hypothèses a été vérifiée par comparaison à une méthode de type Monte Carlo<sup>7</sup> qui ne recourt pas à ces hypothèses, tout en utilisant les mêmes données nucléaires. L'IRSN note le bon accord entre les résultats du module « IncerD » et ceux obtenus avec la méthode Monte Carlo pour l'évaluation des incertitudes associées à la puissance résiduelle.

L'IRSN ne formule pas de remarque sur le choix d'une méthode de propagation déterministe, qui est cohérent avec celui mis en œuvre dans les anciens formulaires d'évaluation des incertitudes associées à la puissance résiduelle. Ceci avait été jugé acceptable par l'IRSN lors d'une précédente expertise (cf. avis en référence [2]).

En ce qui concerne la validation de la méthode de propagation des incertitudes, l'analyse de l'IRSN a été menée en deux temps.

Tout d'abord, concernant la méthode Monte Carlo retenue pour la comparaison, l'IRSN a analysé les compléments apportés par EDF au cours de l'expertise, qui visent à justifier la pertinence de l'outil de calcul utilisé, des choix statistiques retenus (échantillonnage, choix des lois de distribution) et la validité des calculs d'évolution réalisés. L'IRSN ne formule pas de remarque sur les choix effectués. L'outil de calcul utilisant la méthode Monte Carlo est en effet approprié pour la comparaison à la méthode de propagation déterministe des incertitudes de la puissance résiduelle.

Ensuite, l'IRSN note que cet outil de calcul a fait l'objet d'une démarche de validation progressive et continue. Le bon accord entre les deux méthodes de propagation permet donc de valider la méthode de propagation déterministe par cumul quadratique et les hypothèses associées.

En conséquence, l'IRSN estime qu'EDF a apporté des éléments probants permettant de démontrer la capacité de son formulaire de calcul à propager de manière satisfaisante les incertitudes liées aux données nucléaires sur l'évaluation de la puissance résiduelle.

---

<sup>5</sup> Par exemple l'approximation du milieu infini qui, en considérant que l'assemblage s'inscrit dans un réseau d'assemblages identiques répétés à l'infini, néglige les variations du milieu entourant cet assemblage.

<sup>6</sup> Ces incertitudes incluent notamment les tolérances de fabrication des assemblages de combustible : sur les dimensions des pastilles ou leur enrichissement.

<sup>7</sup> La méthode de propagation d'incertitudes Monte Carlo est une méthode numérique basée sur l'échantillonnage aléatoire des données incertaines d'un processus de simulation.

## 4. ÉVALUATIONS DES DONNÉES NUCLÉAIRES

Les connaissances sur les données nucléaires évoluent en continu grâce aux efforts de la communauté scientifique internationale. Le nouveau formulaire intègre une bibliothèque de données nucléaires (JEFF 3.1.1<sup>8</sup>) nettement plus récente que celle utilisée jusqu'à présent par EDF, qui date de plus de 20 ans. En ce qui concerne les incertitudes utilisées dans les calculs, un important travail a été mené par EDF pour élaborer une nouvelle base d'incertitudes venant en complément de l'utilisation de JEFF 3.1.1.

Toutefois, il demeure des incertitudes pour lesquelles les données disponibles sont partielles, voire inexistantes. EDF retient en conséquence l'application d'un certain nombre de traitements à ces paramètres en vue de garantir le conservatisme du calcul final.

De plus, EDF a mis en place une méthode spécifique pour prendre en compte le couplage entre les équations de transports et d'évolution<sup>9</sup>, venant ainsi réduire légèrement l'incertitude globale.

L'IRSN estime pertinente l'utilisation de données nucléaires à l'état de l'art des connaissances afin d'estimer les incertitudes sur la puissance résiduelle. Cependant, pour certaines données, cette bibliothèque présente des sous estimations par rapport à des mesures expérimentales ou à d'autres bibliothèques de données nucléaires. **L'IRSN estime que ces écarts doivent être pris en compte dans l'évaluation des incertitudes liées à la puissance résiduelle (cf. § 5.2).**

Concernant la nouvelle base d'incertitudes sur les données nucléaires, EDF a apporté, au cours de l'expertise, des compléments pour justifier leurs origines. L'analyse par l'IRSN de ces éléments appelle un certain nombre de remarques :

- l'utilisation d'incertitudes à l'état de l'art ne présume pas de leur validité ni de leur conservatisme ;
- cette nouvelle base regroupe des données d'incertitudes provenant de plusieurs évaluations nationales et internationales. Cette multitude de sources est, pour l'IRSN, sujette à caution car elle peut être à l'origine d'incompatibilités et de compensations non justifiées ;
- EDF relève des écarts entre les évaluations de données nucléaires au sujet de l'isotope 241 de l'américium et applique en conséquence une pénalisation afin d'éviter un potentiel sous conservatisme, ce qui est satisfaisant ;
- le découpage en groupes d'énergie retenu par EDF comporte un nombre limité de groupes, mais est raffiné dans la région thermique<sup>10</sup>, ce qui est adapté pour simuler le comportement des combustibles UO<sub>2</sub><sup>11</sup> et MOX<sup>12</sup> chargés dans les réacteurs du parc en exploitation français ;
- afin d'améliorer la précision des incertitudes, certaines données de la nouvelle base d'incertitudes sont issues d'expériences intégrales<sup>13</sup> et sont ajustées via un processus de traitement spécifique. Si cette technique d'analyse est pertinente, l'IRSN estime qu'elle peut conduire à sous-estimer les incertitudes.

Ainsi, malgré certains choix pertinents, l'IRSN n'a pas l'assurance du caractère conservatif des données retenues pour l'évaluation des incertitudes portant sur la puissance résiduelle. Ces réserves ont été discutées au cours de l'expertise et leur prise en compte par EDF est présentée au § 5.2 de cet avis.

<sup>8</sup> « JEFF » est l'acronyme anglophone pour « évaluation des fichiers de fission et de fusion ». Les données correspondant à la fusion nucléaire ont été rajoutées lors du passage de JEF à JEFF.

<sup>9</sup> Il s'agit de la rétroaction de l'évolution de la composition isotopique sur l'évolution du flux.

<sup>10</sup> La région thermique est la zone d'énergie où les neutrons ont une vitesse correspondant à l'équilibre thermique, soit environ 2,2 km.s<sup>-1</sup>.

<sup>11</sup> « UO<sub>2</sub> » et « UOX » désignent tous deux le combustible constitué d'oxyde d'uranium enrichi en uranium 235.

<sup>12</sup> Oxydes mixtes de plutonium et d'uranium. À date, ce type d'assemblages n'est présent que sur des réacteurs du palier 900 MWe (22 sur les 32 réacteurs de ce palier actuellement en fonctionnement).

<sup>13</sup> Il s'agit d'expériences de mesure de la puissance émise par des assemblages de combustibles irradiés.

Par ailleurs, en ce qui concerne le traitement par EDF des données partielles ou inexistantes, l'IRSN estime satisfaisantes les justifications apportées au cours de l'expertise. Cependant, EDF présente l'évaluation de ces traitements uniquement pour la gestion de combustible PARITÉ MOX, qui comporte du combustible UO<sub>2</sub> et MOX. Dans la mesure où EDF envisage l'application de cette nouvelle méthode pour les réacteurs utilisant d'autres gestions de combustible, l'IRSN estime qu'EDF devrait transmettre des compléments pour les combustibles UO<sub>2</sub> et UO<sub>2</sub> gadoliniés<sup>14</sup>, représentatifs d'une gestion de combustible UO<sub>2</sub> telle que la gestion GEMMES<sup>15</sup>. **Ceci amène l'IRSN à formuler l'observation n° 1 en Annexe 3.**

## 5. VALIDATION EXPÉRIMENTALE DES INCERTITUDES SUR LA PUISSANCE RÉSIDUELLE

Afin de valider sa nouvelle méthode d'estimation des incertitudes sur la puissance résiduelle, EDF utilise des expériences issues de la base de qualification du formulaire de calcul de la puissance résiduelle. Il s'agit de démontrer que les incertitudes évaluées avec sa nouvelle méthode sont enveloppes des écarts de résultats entre le calcul et la mesure pour ces expériences, incertitudes de mesures comprises.

### 5.1. VALIDATIONS EXPÉRIMENTALES

EDF présente dans son dossier des éléments de validation des incertitudes sur la puissance résiduelle sur la base de comparaisons avec :

- des expériences dites « intégrales » de mesure directe de la puissance résiduelle ;
- des expériences permettant de produire des courbes de fissions élémentaires<sup>16</sup>;
- des expériences de bilan matière (ou inventaire isotopique)<sup>17</sup>.

Les expériences intégrales de mesure de la puissance résiduelle couvrent des plages de temps de refroidissement importantes : entre 45 minutes et 42 jours, entre 2 et 8 ans, et entre 13 et 25 ans. Pour chacune de ces expériences, des écarts sont observés entre les résultats de calculs et de mesures pris sans incertitudes. Les incertitudes évaluées par la nouvelle méthode permettent un bon recouvrement de ces écarts, incertitudes de mesures comprises. L'IRSN juge ces éléments satisfaisants pour chacun des intervalles de temps considérés.

En ce qui concerne les expériences établissant les courbes de fissions élémentaires, qui portent sur des temps de refroidissement courts (inférieurs à 100 jours), l'analyse montre de faibles écarts entre les mesures expérimentales et les calculs. De rares écarts plus notables sont constatés pour certaines mesures, mais ceux-ci ne sont pas de nature à mettre en cause la robustesse des calculs de puissance résiduelle, car ils sont couverts par les incertitudes de calcul évaluées par EDF. Toutefois, ces expériences ne portent pas sur la totalité des isotopes contributeurs à la puissance résiduelle et ne sont donc pas suffisantes pour démontrer la validation expérimentale de la méthodologie de calcul des incertitudes sur la puissance résiduelle aux temps inférieurs à 45 minutes, ceci d'autant plus en l'absence de validation intégrale.

Enfin, en ce qui concerne les expériences de bilan matière, les résultats portent sur des temps de refroidissement longs pour les combustibles UO<sub>2</sub> et MOX. Si les résultats montrent que les incertitudes évaluées avec la nouvelle méthode couvrent les écarts entre le calcul et la mesure, incertitudes de mesure comprises, l'IRSN note

<sup>14</sup> Les assemblages dits « gadoliniés » comportent un certain nombre de pastille de gadolinium, qui est un absorbant de neutrons consommable, afin de faciliter la maîtrise de la réactivité du cœur en début de cycle.

<sup>15</sup> Il s'agit de la gestion de combustible présente pour tous les réacteurs du palier 1300 MWe.

<sup>16</sup> Il s'agit, pour ces expériences de fission élémentaires, de mesurer la puissance émise à la suite de la fission d'un élément fissile par un neutron d'une énergie donnée. Ces mesures donnent accès à des temps très courts (à partir du dixième de seconde), mais peuvent présenter des incertitudes relativement importantes (allant jusqu'à 10 % environ).

<sup>17</sup> Les expériences de bilan matière consistent à analyser la composition isotopique du combustible irradié.

cependant que cette comparaison n'a pas été menée sur tous les isotopes fortement contributeurs à la puissance résiduelle.

La prise en compte, de façon globale, de ces éléments par EDF est présentée au § 5.2 ci-après.

## 5.2. ANALYSE DE LA VALIDATION POUR LE DOMAINE D'UTILISATION VISÉ

EDF envisage l'utilisation de son nouveau formulaire pour :

- les temps de refroidissement allant de 0,1 s à 300 ans ;
- l'ensemble des gestions de combustible du parc électronucléaire français (incluant le combustible UO2 et MOX).

À cet égard, l'IRSN considère que le domaine de validation doit être défini au regard des différents paramètres relatifs au combustible, à savoir le type de combustible (UO2, MOX, et ceux comportant des poisons neutroniques<sup>18</sup>), le taux d'enrichissement, le taux de combustion et le temps de refroidissement.

Au cours de l'expertise, EDF a apporté des compléments afin de justifier l'adéquation du domaine de validité de la nouvelle méthode d'évaluation des incertitudes au regard du domaine d'utilisation visé.

S'agissant du type de combustible et de leurs enrichissements, l'IRSN note que :

- pour le combustible UO2 gadolinié, EDF a apporté des éléments permettant d'estimer l'impact de ces poisons neutroniques sur l'évaluation de la puissance résiduelle. L'IRSN estime ces éléments satisfaisants ;
- pour le combustible MOX, EDF valorise un essai intégral effectué sur le réacteur PHÉNIX nommé PUIREX 2008. Ce réacteur utilise le sodium comme fluide réfrigérant du cœur, ce qui a pour principale conséquence de réduire très fortement la modération<sup>19</sup> des neutrons dans le cœur<sup>20</sup> en comparaison à un REP. La présence d'écarts importants entre le calcul et la mesure, et la technologie différente du réacteur rendent hasardeuse la transposition des conclusions à des assemblages MOX irradiés en REP. **Ceci conduit l'IRSN à formuler l'observation n° 2 en Annexe 3 ;**
- pour ce qui est des enrichissements (en uranium ou plutonium), l'IRSN estime satisfaisants les compléments apportés par EDF au cours de l'expertise.

S'agissant du taux de combustion, il ressort que :

- les expériences intégrales ne considèrent que du combustible UO2, pour des plages de taux de combustion réduites ;
- les expériences de bilan matière couvrent une plage plus large pour le combustible UO2 que pour le MOX. De plus, les expériences dédiées au combustible MOX ne couvrent qu'insuffisamment les taux de combustion. À cet égard, l'IRSN estime qu'EDF doit apporter des compléments pour conforter la validation de la nouvelle méthode d'estimation des incertitudes pour le combustible MOX. **En conséquence, l'IRSN formule l'observation n° 3 en Annexe 3 ;**

<sup>18</sup> Un poison neutronique est un élément se caractérisant par sa forte propension à capturer des neutrons. Dans le cas des AC « non standards », il s'agit d'un ajout à la fabrication du combustible afin de mieux maîtriser la réaction en chaîne dans le réacteur. Cela peut être du gadolinium pour réduire la réactivité des AC neufs en début de cycle, ou du hafnium, afin de réduire le flux neutronique reçu par la cuve (et ainsi prolonger sa durée de vie).

<sup>19</sup> La modération désigne le processus de ralentissement des neutrons par l'interaction avec les noyaux présents dans le cœur. Ces interactions – principalement de diffusion élastique – existent avec tous les noyaux, mais celles avec les noyaux les plus légers (et notamment l'hydrogène contenu dans l'eau) sont les plus efficaces pour ralentir les neutrons.

<sup>20</sup> Ce type de réacteur est en conséquence appelé réacteur à neutrons rapides.

Enfin, s'agissant du temps de refroidissement, l'IRSN note une différence significative du niveau de validation entre les combustibles UO2 et MOX :

- pour le combustible UO2, le niveau de validation est globalement satisfaisant, en particulier pour les temps de refroidissement compris entre 45 minutes et 42 jours. Néanmoins, l'absence de validation intégrale aux temps de refroidissement inférieurs à 45 minutes, ainsi que les réserves mentionnées dans cet avis, ne permettent pas à l'IRSN d'avoir un niveau de confiance suffisant pour une utilisation de ce formulaire dans la démonstration de sûreté à ces temps sans pénalisation supplémentaire ;
- pour le combustible MOX, seuls les bilans matière sont actuellement valorisables, ce qui ne permet de couvrir que des temps de refroidissements longs. La validation demeure donc insuffisante en l'état.

Compte tenu de l'ensemble de ces éléments, l'IRSN estime que des compléments de validation sont nécessaires en préalable à l'utilisation de la nouvelle méthode d'estimation des incertitudes dans les études de la démonstration de sûreté. EDF s'est engagé, au cours de l'expertise, à prendre des pénalités supplémentaires pour pallier ces manques de validation. Ceci fait l'objet des engagements n° 2 et 3 cités en Annexe 2.

Sous réserve de la réponse à l'engagement n° 1, l'IRSN estime satisfaisant le dimensionnement de la pénalité retenue, prise par l'engagement n° 2, visant à couvrir les approximations de calculs et les tolérances de fabrications évoquées précédemment (cf. § 2), ainsi que de potentiels sous conservatismes des données nucléaires utilisées (cf. § 4).

**Concernant la pénalité spécifique retenue pour couvrir le manque de validation expérimentale pour le combustible MOX, prise par l'engagement n° 3, l'IRSN estime que les éléments apportés par EDF sont insuffisants en l'état pour justifier sa valeur. Ceci conduit l'IRSN à formuler une recommandation en Annexe 1.**

## 6. CONCLUSION

L'IRSN tient à souligner l'importance du travail réalisé par EDF pour établir et valider cette nouvelle méthode d'évaluation des incertitudes sur la puissance résiduelle, ce qui est d'autant plus complexe dès lors qu'il s'agit d'incertitudes.

**À l'issue de son expertise des éléments présentés par EDF, l'IRSN estime que la démarche proposée est dans son ensemble robuste et satisfaisante.** S'agissant du combustible UO2, l'IRSN estime que la nouvelle méthode d'évaluation des incertitudes est acceptable pour une première application pour les études de sûreté liées au RP4 1300, sous réserve de la prise en compte des engagements n° 1 et n° 2 pris par EDF au cours de l'expertise. **Concernant le combustible MOX, l'IRSN estime que les éléments présentés ne sont pas suffisants pour justifier du conservatisme de la méthode, même en tenant compte de la pénalité supplémentaire, spécifique à ce combustible, proposée au cours de l'expertise par EDF. Par conséquent, l'utilisation de cette nouvelle méthode est acceptable sous réserve de la prise en compte, en complément des engagements n° 1 et n° 2, de la recommandation formulée en Annexe 1.**

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## **ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2021-00051 DU 7 AVRIL 2021**

### **Recommandation de l'IRSN**

L'IRSN recommande qu'EDF justifie le caractère conservatif de la pénalisation de 0,5 % retenue pour prendre en compte le manque de validation expérimentale intégrale des combustibles MOX.



## **ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2021-00051 DU 7 AVRIL 2021**

### **Engagements principaux de l'exploitant**

#### **Engagement n° 1**

EDF calculera l'impact de l'approximation du milieu infini ou environné pour les produits UO2 et MOX respectivement à l'échéance de juin 2021.

#### **Engagement n° 2**

EDF retiendra une pénalisation de 1,5 % sur la puissance résiduelle pour couvrir l'impact du schéma de calcul neutronique et des postes d'incertitudes supplémentaires.

#### **Engagement n° 3**

EDF prendra une pénalisation supplémentaire de 0,5 % sur la puissance résiduelle pour prendre en compte le manque de données expérimentales intégrales pour le MOX.

## ANNEXE 3 À L'AVIS IRSN N° 2021-00051 DU 7 AVRIL 2021

### Observations de l'IRSN

#### Observation n° 1

L'IRSN estime qu'EDF devrait évaluer l'impact sur les calculs d'incertitudes de puissance résiduelle, pour des combustibles UO<sub>2</sub> et UO<sub>2</sub> gadoliniés représentatifs d'une gestion UO<sub>2</sub> telle que GEMMES :

- de la pénalisation de 5 % de l'incertitude sur la section de capture de l'<sup>241</sup>Am ;
- de l'absence de prise en compte des corrélations sur les rendements indépendants de fission ;
- du traitement effectué pour les paramètres initialement sans incertitude (quantile à 95 %, préconisations pour le branchement de l'<sup>241</sup>Am vers l'<sup>242</sup>Am et pour le branchement du <sup>137</sup>Cs vers le <sup>137m</sup>Ba) ;
- du couplage entre les équations de transport et d'évolution.

#### Observation n° 2

Afin de pouvoir valoriser l'essai PUIREX 2008 pour la validation de la nouvelle méthode d'estimation des incertitudes sur la puissance résiduelle pour le combustible MOX, l'IRSN estime qu'EDF devrait apporter des éléments d'analyse complémentaire pour justifier son caractère transposable aux conditions des réacteurs à eau pressurisée.

#### Observation n° 3

Dans l'objectif de conforter la validation de la nouvelle méthode d'estimation des incertitudes sur la puissance résiduelle pour la plage de taux de combustion envisagée sur les réacteurs du parc en exploitation pour les combustibles MOX, l'IRSN estime qu'EDF devrait exploiter d'autres cas de la base de validation dans le but de vérifier l'absence d'impact significatif du taux de combustion, ou à défaut justifier de la suffisance de la validation réalisée dans son dossier.