

Fontenay-aux-Roses, le 28 octobre 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2020-00167

Objet :	EPR de Flamanville - Impact du REX du premier EPR sur la modélisation du cœur et sur la validation des outils de calcul scientifique utilisés dans la démonstration de sûreté.
Réf. :	Lettre ASN - CODEP-DCN-2020-003906 du 15 janvier 2020.

Dans le cadre de la demande d'autorisation de mise en service du réacteur EPR de Flamanville (EPR FA3), la validation de la conception de ce réacteur repose notamment sur la réalisation d'essais physiques de démarrage qui couvrent les caractéristiques neutroniques du cœur, les moyens de contrôle du cœur ainsi que les moyens de surveillance et de protection du réacteur. Le programme d'essais physiques de démarrage a été notamment défini de façon à :

- vérifier que le cœur se comporte conformément à l'attendu en particulier au travers des mesures de paramètres représentatifs du comportement neutronique¹ ;
- confirmer que l'EPR FA3 se comporte de façon similaire aux réacteurs du parc en exploitation en ce qui concerne la physique du cœur et que ses spécificités² ont été correctement appréhendées dans les études de conception présentées dans le rapport de sûreté.

En 2019, Électricité de France (EDF) a présenté à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) le retour d'expérience (REX) des essais physiques menés dans le cadre du démarrage du premier EPR³. Ce REX montre que certaines mesures diffèrent de l'évaluation réalisée par calcul de certaines grandeurs physiques représentatives de la réactivité et de la distribution de puissance.

Par la lettre en référence, l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur la modélisation du comportement du cœur du réacteur EPR FA3 et la validation des chaînes de calcul neutronique utilisées dans la démonstration de sûreté de ce réacteur en tenant compte du REX des essais physiques réalisés lors du démarrage du premier EPR.

¹ Efficacités des groupes de grappes de contrôle, coefficients de contre-réaction, distributions de puissance, etc.

² Par rapport aux cœurs des réacteurs du parc en exploitation, l'EPR présente trois différences notables : la grande taille de son cœur, la présence d'un réflecteur lourd et la présence d'une instrumentation neutronique « incore » (collectrons, système AMS) issue de la conception des réacteurs de type KONVOI allemands.

³ Le « premier EPR » fait référence au premier réacteur de type EPR dans le monde à avoir été mis en service industriellement.

L'impact de ce REX sur la démonstration de sûreté de l'EPR FA3 (y compris sur le dimensionnement des seuils de surveillance et de protection), sur les programmes d'essais physiques ainsi que sur le comportement de l'instrumentation nucléaire fera l'objet d'un avis ultérieur. À cet égard, l'IRSN rappelle que, de manière générale, les essais physiques prévus par les règles générales d'exploitation (RGE) de l'installation permettent de s'assurer que les écarts entre les mesures réalisées et les calculs théoriques restent inférieurs à certains critères. Les études de rapport de sûreté sont par ailleurs réalisées en tenant compte de pénalités couvrant la possibilité d'écarts entre les calculs et les mesures inférieurs ou égaux aux critères des RGE. Le non-respect des critères d'essais physiques peut conduire à identifier la nécessité d'améliorer les chaînes de calcul neutronique utilisées dans la démonstration de sûreté.

1. ANALYSE DU REX DES ESSAIS PHYSIQUES REALISES LORS DU DEMARRAGE DU PREMIER EPR

Le programme d'essais physiques de démarrage du premier EPR est similaire à celui de l'EPR FA3. Ces essais ont été interprétés avec les chaînes de calcul neutronique d'EDF et de Framatome utilisées dans la démonstration de sûreté de l'EPR FA3. Le REX des essais physiques menés dans le cadre du démarrage du premier EPR a mis en évidence le besoin d'améliorer la précision du calcul de la réactivité et de la distribution de puissance évaluées avec ces chaînes.

En effet, les mesures de concentration en bore (CB) ont montré une sous-estimation de la réactivité évaluée avec la chaîne de calcul neutronique d'EDF. Cette tendance a déjà été constatée pour les réacteurs du parc en exploitation⁴. Ainsi, le biais sur la réactivité évaluée avec cette chaîne de calcul n'est pas une conséquence des spécificités des réacteurs EPR (taille du cœur, réflecteur lourd). L'IRSN n'a pas de remarque sur ce point.

En outre, selon EDF, les écarts entre les calculs et les mesures sur la distribution radiale de puissance seraient principalement liés aux approximations introduites dans les chaînes de calcul neutronique et à l'utilisation d'une bibliothèque de données nucléaires ne bénéficiant pas des derniers acquis dans le domaine. En effet, l'utilisation de bibliothèques plus récentes pour mener des calculs de référence avec un logiciel de type Monte-Carlo⁵ permet d'améliorer significativement la précision du calcul de la distribution radiale de puissance. Le choix de certaines données nucléaires ne fait toutefois pas l'objet d'un consensus. En l'état, l'IRSN considère donc que l'origine des écarts sur la distribution radiale de puissance n'a pas été identifiée avec certitude. EDF s'est engagé à poursuivre ses analyses et devra informer régulièrement l'ASN et l'IRSN de leur avancement (voir engagement n°1 en annexe 3).

EDF a également identifié des écarts entre les distributions axiales de puissance évaluées avec les chaînes de calcul lors de la première moitié du premier cycle réalisé sur le premier EPR. L'IRSN estime acceptable l'engagement d'EDF de poursuivre ses analyses afin de confirmer l'origine de ces écarts et d'analyser les conséquences de ces écarts sur les études de sûreté (voir engagement n°2 en annexe 3).

⁴ Cette sous-estimation n'entraîne en général toutefois pas de non-respect des critères correspondants du chapitre « essais physiques » des RGE compte tenu des ajustements du calcul de la réactivité.

⁵ La méthode de Monte-Carlo consiste à simuler le transport des neutrons ainsi que les phénomènes d'interaction entre les neutrons et la matière qui sont pris en compte via des lois de probabilité.

2. REEXAMEN DES DOSSIERS DE VALIDATION DES CHAINES DE CALCUL

2.1. APPLICABILITE DES DOSSIERS DE VALIDATION ETABLIS POUR LES REACTEURS DU PARC EN EXPLOITATION ET VALIDATION DE LA MODELISATION DE L'INSTRUMENTATION NUCLEAIRE

Les modèles neutroniques de l'EPR FA3 implémentés dans les chaînes de calcul neutronique d'EDF et de Framatome sont ajustés sur des calculs de référence de type Monte-Carlo ou sur le REX. EDF a modifié certains de ces ajustements afin de prendre en compte le REX du premier EPR et d'améliorer ainsi la précision des calculs de réactivité et de distribution radiale de puissance. La démarche de dimensionnement de ces ajustements n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

L'IRSN a mené des évaluations qui montrent que l'ajustement de la distribution radiale de puissance de l'EPR FA3 pourrait dépendre de l'évolution de la concentration en bore du circuit primaire en cours de cycle⁶. EDF s'est engagé à analyser la sensibilité de cet ajustement à l'évolution de la CB (voir engagement n°3 en annexe 3). L'IRSN considère satisfaisant cet engagement.

EDF a apporté des éléments techniques visant à justifier, compte tenu des nouveaux ajustements, l'applicabilité à l'EPR FA3 de la validation des chaînes de calcul neutronique établie pour les réacteurs du parc en exploitation. EDF a apporté également des éléments de validation de la modélisation de la réponse de l'instrumentation nucléaire dans ces chaînes de calcul. En l'état, l'IRSN considère que ces éléments sont incomplets. EDF s'est donc engagé à apporter des compléments techniques substantiels à ce sujet (voir engagements n°4 à n°11 en annexe 3). L'IRSN estime que les objectifs associés à ces engagements sont acceptables.

L'IRSN identifie également certaines analyses pouvant être menées par EDF afin de compléter les éléments qu'il a transmis pour justifier l'incertitude de calcul de la réactivité par les chaînes de calcul pour le premier cycle et pour les cycles ultérieurs. À ce titre, l'IRSN formule l'observation n°1 en annexe 2.

Enfin, EDF n'a pas apporté d'élément de validation de la modélisation de l'instrumentation nucléaire de niveau puissance intermédiaire⁷ implémentée dans les chaînes de calcul. Dans la mesure où la démonstration de sûreté lors des essais physiques de démarrage de l'EPR FA3 s'appuie notamment sur une chaîne de protection utilisant cette instrumentation, l'IRSN estime qu'EDF devrait transmettre ces éléments. À ce titre, l'IRSN formule l'observation n°2 en annexe 2.

2.2. PERTINENCE DES MODELES NEUTRONIQUES CONSIDERES DANS LA DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EPR FA3

EDF a décrit les hypothèses de modélisation du cœur et de l'instrumentation nucléaire de l'EPR FA3 prises en compte dans le cadre de la démonstration de sûreté.

EDF a évalué l'impact du REX du démarrage du premier EPR sur la démonstration de sûreté de l'EPR FA3 en tenant compte de nouveaux ajustements des modèles neutroniques et des incertitudes de calcul de la distribution de puissance. L'IRSN considère que le conservatisme de ces incertitudes par rapport à celles issues des dossiers de validation des chaînes de calcul établis pour les réacteurs du parc en exploitation n'est pas acquis. La transmission d'une évaluation quantitative des incertitudes de calcul de la distribution de puissance à partir

⁶ La CB évolue en cours de cycle afin de maintenir la criticité du réacteur.

⁷ Détecteurs neutroniques à dépôt de bore.

du REX des essais physiques du premier EPR aurait pu permettre de vérifier ce conservatisme. En l'état, l'IRSN considère que l'ajustement des modèles neutroniques du cœur de l'EPR FA3 de la démonstration de sûreté doit tenir compte des incertitudes liées à l'évaluation des données nucléaires. Sur ce point, l'IRSN constate que l'impact des incertitudes liées aux données nucléaires sur l'ajustement conduit à pénaliser davantage la distribution de puissance. Ainsi, les ajustements⁸ actuellement retenus par EDF pour la modélisation de la distribution radiale de puissance de l'EPR FA3 avec les chaînes de calcul neutronique sont de nature à surestimer les marges vis-à-vis des critères de la démonstration de sûreté. En conséquence, l'IRSN formule à ce sujet l'observation n°3 présentée en annexe 2.

Les analyses menées par EDF tendent à montrer que le calcul de la distribution radiale de puissance pour les cycles ultérieurs au premier cycle de l'EPR FA3 est moins sensible aux approximations considérées dans les chaînes de calcul et à l'utilisation de données nucléaires ne bénéficiant pas des derniers acquis dans ce domaine. À ce titre, EDF s'engage à mener des évaluations complémentaires dans le cadre de la démonstration de sûreté spécifique au deuxième et au troisième cycle de l'EPR FA3.

Les études de conception et de sûreté de l'EPR FA3 s'appuient pour la plupart sur une modélisation tridimensionnelle (3D) du cœur avec la chaîne de calcul de Framatome couplée à la mise en œuvre de pénalités spécifiques permettant de prendre en compte les pics locaux de puissance des crayons de combustible induits par la présence de l'instrumentation nucléaire située dans le cœur. Par contre, certaines études génériques ont été réalisées par EDF avec sa chaîne de calcul neutronique qui ne tient pas compte des effets de l'instrumentation nucléaire sur les pics locaux de puissance. L'IRSN estime non satisfaisants les éléments transmis par EDF afin de justifier cette lacune de modélisation et formule à ce sujet la recommandation présentée en annexe 1.

Enfin, l'IRSN constate des différences notables entre les chaînes de calcul neutronique concernant l'interprétation des essais physiques du premier EPR et considère qu'EDF doit comparer ces interprétations afin de vérifier la cohérence entre la réponse de la chaîne de Framatome et celle d'EDF.

3. CONCLUSION

Le REX des essais physiques de démarrage du premier EPR a mis en évidence la nécessité d'améliorer la précision du calcul de la réactivité et de la distribution de puissance évaluées avec les chaînes de calcul neutronique d'EDF et de Framatome utilisées dans la démonstration de sûreté de l'EPR FA3.

Ce REX amène EDF à ajuster certains paramètres des modèles neutroniques de ces chaînes de calcul. EDF s'est engagé à apporter des compléments substantiels afin de justifier, dans l'attente de la réalisation des essais physiques de l'EPR FA3, la validation de ces chaînes de calcul. Ceci est jugé satisfaisant par l'IRSN.

Par ailleurs, EDF a évalué l'impact du REX sur la démonstration de sûreté de l'EPR FA3 en tenant compte des nouveaux modèles neutroniques et des incertitudes de calcul de la distribution de puissance. En l'absence de validation de celles-ci à partir du REX des essais physiques et du fait de la non prise en compte des incertitudes relatives à l'évaluation des données nucléaires afin de définir les nouveaux modèles neutroniques, l'IRSN considère qu'EDF devrait compléter ses évaluations.

Le REX a mis en évidence que la réponse de la chaîne de calcul d'EDF pouvait être notablement différente de celle de Framatome. À ce titre, l'IRSN estime qu'EDF doit vérifier la cohérence entre les chaînes de calcul utilisées dans la démonstration de sûreté de l'EPR FA3.

La chaîne de calcul d'EDF ne tient pas compte de l'effet de la présence de l'instrumentation nucléaire située à l'intérieur du cœur sur la distribution de puissance. À cet égard, la chaîne de calcul d'EDF doit être modifiée.

⁸ Cet ajustement est réalisé via le coefficient de diffusion des neutrons rapides du réflecteur radial. Ce coefficient influe sur les fuites radiales de neutrons hors du cœur et donc sur la distribution radiale de puissance.

À l'issue de l'expertise des éléments apportés par EDF et compte tenu des engagements pris par celui-ci, l'IRSN n'a pas d'objection à l'utilisation des chaînes de calcul neutronique concernées dans la démonstration de sûreté de l'EPR FA3.

L'impact du REX des essais physiques de démarrage du premier EPR sur la démonstration de sûreté de l'EPR FA3 (y compris sur le dimensionnement des seuils de surveillance et de protection), sur les programmes d'essais physiques ainsi que sur le comportement de l'instrumentation nucléaire fera l'objet d'un avis ultérieur.

IRSN
Le Directeur général
Par délégation
Thierry PAYEN
Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2020-00167 DU 28 OCTOBRE 2020

Recommandation de l'IRSN

L'IRSN recommande qu'EDF mette à jour les études de sûreté s'appuyant sur une modélisation tridimensionnelle du cœur avec sa chaîne de calcul en prenant en compte l'effet pénalisant de la présence de l'instrumentation nucléaire située à l'intérieur du cœur sur la distribution de puissance.

ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2020-00167 DU 28 OCTOBRE 2020

Observations de l'IRSN

Observation n° 1

L'IRSN estime qu'EDF devrait :

- évaluer l'impact de l'utilisation de la bibliothèque de données nucléaires du CEA pour simuler la distribution de puissance de l'EPR FA3, au lieu de la bibliothèque JEF-2.2, sur le calcul de la réactivité avec un logiciel de type Monte-Carlo ;
- fournir une interprétation physique de l'augmentation, pour les cycles ultérieurs au premier cycle de l'EPR FA3, des écarts sur la réactivité entre la chaîne de calcul neutronique d'EDF et le logiciel de type Monte-Carlo du CEA.

Observation n° 2

L'IRSN estime qu'EDF devrait présenter la modélisation des chaînes neutroniques de puissance intermédiaire ainsi que des éléments de validation associés prenant en compte le retour d'expérience du démarrage du premier EPR.

Observation n° 3

L'IRSN estime que l'analyse d'impact du REX du premier EPR sur la démonstration de sûreté de l'EPR FA3 devrait être mise à jour en retenant une majoration supplémentaire de 10 % du coefficient de diffusion des neutrons rapides pour couvrir les incertitudes associées à l'évaluation des données nucléaires et le manque de validation du calcul de la distribution de puissance.

ANNEXE 3 A L'AVIS IRSN N° 2020-00167 DU 28 OCTOBRE 2020

Engagements principaux d'EDF

Engagement n° 1

EDF prend l'engagement de poursuivre ses analyses conjointement avec le CEA de façon à conforter et consolider l'analyse des causes en intégrant les mesures des essais physiques de l'EPR FA3. EDF prévoit de transmettre ces éléments à l'échéance du dossier de fin de démarrage.

Engagement n° 2

EDF prend l'engagement de :

- fournir les hypothèses associées aux modélisations de la composition du combustible implémentées dans les chaînes de calcul neutronique utilisées dans la démonstration de sûreté ;
- poursuivre ses analyses afin de confirmer les premiers constats et caractériser l'origine physique des écarts sur la distribution axiale de puissance entre les chaînes de calcul constatés lors du premier cycle ;
- réaliser des études de sensibilité avec la chaîne de calcul d'EDF afin d'évaluer les conséquences de ces écarts sur les études de sûreté menées avec cette chaîne.

EDF prévoit de transmettre ces éléments à l'échéance de fin 2020.

Engagement n° 3

EDF prend l'engagement d'analyser la sensibilité de l'ajustement de la distribution radiale de puissance de l'EPR FA3 à l'évolution de la concentration en bore du circuit primaire. EDF prévoit de transmettre ces résultats à l'échéance de fin 2020.

Engagement n° 4

EDF prend l'engagement de :

- compléter la documentation décrivant la modélisation de l'instrumentation nucléaire du système AMS implémentée dans la chaîne de calcul de Framatome ;
- réaliser des analyses complémentaires afin de consolider les hypothèses relatives à la modélisation géométriques de l'instrumentation nucléaire située à l'intérieur du cœur implémentée dans la chaîne de calcul d'EDF.

EDF prévoit de transmettre ces éléments à l'échéance de fin 2020.

Engagement n° 5

EDF prend l'engagement de transmettre des éléments complémentaires afin de justifier la pertinence des calculs Monte-Carlo menés pour consolider la validation des chaînes de calcul dans les conditions de basse pression et de basse température. EDF prévoit de transmettre ces résultats à l'échéance du dossier de fin de démarrage.

Engagement n° 6

EDF prend l'engagement de démontrer l'absence d'impact significatif du retour d'expérience des premiers EPR sur les fonctions d'importance⁹ considérées pour modéliser la réponse des détecteurs neutroniques de niveau puissance situés à l'extérieur du cœur. EDF prévoit de transmettre cette démonstration à l'échéance de mi-2021.

Engagement n° 7

EDF prend l'engagement d'évaluer l'impact du choix de la méthode de modélisation du réflecteur radial implémentée dans sa chaîne de calcul sur :

- les écarts entre la distribution de puissance calculée et la distribution de puissance mesurée pendant les essais physiques réalisés lors des premiers cycles de Chooz 1 ;
- les écarts entre la distribution de puissance de l'EPR FA3 calculée avec sa chaîne de calcul neutronique et la distribution de puissance de référence calculée avec le logiciel de type Monte-Carlo du CEA au début du premier cycle dans les conditions des essais physiques de démarrage.

EDF prévoit de transmettre ces évaluations à l'échéance de fin septembre 2020.

Engagement n° 8

EDF prend l'engagement de compléter les éléments de validation de la chaîne de calcul de Framatome dans les conditions de basse pression et de basse température afin de couvrir les domaines d'exploitation d'arrêt pour intervention et d'arrêt pour rechargement¹⁰. EDF prévoit de transmettre ces compléments avant l'échéance de fin 2020.

Engagement n° 9

EDF prend l'engagement de mener une analyse permettant de confirmer que la variabilité des conditions de fonctionnement du réacteur (densité du modérateur, concentration en bore) n'est pas de nature à mettre en cause la réponse de l'instrumentation nucléaire située à l'intérieur du cœur. EDF prévoit de transmettre les résultats de cette analyse à l'échéance de fin 2020.

Engagement n° 10

EDF prend l'engagement d'apporter des éléments issus du retour d'expérience des premiers EPR sur la modélisation des réponses théoriques de l'instrumentation nucléaire située à l'intérieur du cœur proche du réflecteur lourd. EDF prévoit de transmettre ces éléments à l'échéance de septembre 2021.

Engagement n° 11

EDF prend l'engagement d'apporter des justifications complémentaires sur les valeurs d'incertitudes retenues dans le rapport de sûreté sur la base notamment des essais physiques de démarrage de l'EPR FA3 ainsi que des essais physiques en fin du premier cycle. EDF prévoit de transmettre ces éléments à l'échéance du dossier de fin de démarrage.

⁹ La réponse des détecteurs neutroniques de niveau puissance est reconstruite à partir de la pondération de la puissance de chaque assemblage dans le cœur par un facteur ou une fonction d'importance.

¹⁰ La pression dans le circuit primaire correspond à la pression atmosphérique lorsque le réacteur est en arrêt pour intervention ou en arrêt pour rechargement.