



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 28 octobre 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00205

Objet : Expertise anticipée en vue d'une demande d'autorisation de création d'une paire de réacteurs de type EPR2 : situations DEC-B et dispositions associées.

Réf. : [1] Guide de l'ASN n° 22 du 18 juillet 2017 : Conception des réacteurs à eau sous pression.
[2] Lettre ASN - CODEP-DCN-2022-026049 du 20 mai 2022.
[3] Décision de l'ASN n° 2015-DC-0532 du 17 novembre 2015.

1. INTRODUCTION

En amont d'une demande d'autorisation de création d'une paire de réacteurs de type EPR2, EDF a transmis le volet générique « palier¹ » du rapport préliminaire de sûreté (RPrS) afin qu'une instruction anticipée puisse être menée.

Les objectifs généraux de sûreté du réacteur EPR2 associés aux accidents avec fusion du cœur figurant dans le RPrS sont les suivants : les accidents avec fusion du cœur ou de combustible qui entraîneraient des rejets importants et précoces² doivent être « pratiquement éliminés³ ». Pour les autres accidents pour lesquels la fusion du cœur du réacteur est postulée malgré les moyens mis en œuvre pour les prévenir, qui correspondent aux conditions de fonctionnement DEC-B⁴, des dispositions de conception, dites « dispositions DEC-B », doivent être prises afin d'en limiter l'impact dans l'espace et dans le temps.

¹ Un palier désigne l'ensemble des réacteurs d'un modèle donné.

² Il s'agit des accidents avec fusion de combustible susceptibles de conduire à des rejets radioactifs importants avec une cinétique qui ne permettrait pas la mise en œuvre à temps des mesures nécessaires de protection des populations (extrait de l'article 3.2.6 du guide de l'ASN N° 22 en référence [1]).

³ Ces accidents sont rendus physiquement impossibles ou, à défaut, des dispositions sont mises en œuvre afin de les rendre extrêmement improbables avec un haut degré de confiance (extrait de l'article 3.2.6 du guide de l'ASN N° 22 en référence [1]).

⁴ DEC-B : domaine de conception étendu (« design extension conditions-B ») dans lequel la fusion du cœur du réacteur est postulée.

MEMBRE DE
ETSON

Ces dispositions DEC-B ont pour but de prévenir ou de limiter les conséquences liées à l'occurrence des principaux phénomènes physiques intervenant lors d'un accident avec fusion du cœur, à savoir :

- la fusion du cœur à pression élevée dans le circuit primaire du réacteur (RCP) ;
- la présence d'hydrogène dans l'enceinte ;
- l'érosion du béton du radier⁵ de l'enceinte par le corium⁶ ;
- la pressurisation lente de l'enceinte.

De plus, lors d'une condition de fonctionnement DEC-B, pour les différentes configurations de fusion du cœur envisageables sur l'EPR2, le risque de retour en criticité⁷ du corium doit être écarté.

La mise en œuvre des dispositions DEC-B doit permettre d'atteindre et de maintenir durablement un état « maîtrisé » de l'installation assurant le confinement des matières radioactives, l'évacuation de la puissance résiduelle hors de l'enceinte du réacteur et un corium refroidi et stabilisé en configuration sous-critique⁸.

Le dimensionnement des dispositions DEC-B est effectué à partir de conditions de fonctionnement DEC-B, c'est-à-dire de scénarios d'étude, nécessitant leur mise en œuvre.

Par la lettre en référence [2], l'Autorité de sûreté (ASN) sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur :

- la démarche d'élaboration de la liste des conditions de fonctionnement DEC-B retenue pour le réacteur EPR2 ;
- la liste des conditions de fonctionnement DEC-B et des dispositions DEC-B ;
- les règles applicables aux études des conditions de fonctionnement DEC-B.

Dans ce cadre, l'ASN souhaite que l'IRSN se prononce sur la suffisance des informations contenues dans les chapitres du RPrS traitant des sujets à expertiser, en tenant compte de la décision en référence [3] relative au rapport de sûreté des installations nucléaires de base et en particulier de son titre IV relatif au contenu du RPrS, ainsi que des préconisations contenues dans le guide de l'ASN n° 22 en référence [1].

Une synthèse de l'expertise menée par l'IRSN et de ses principales conclusions est présentée ci-après.

2. SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DE L'IRSN

2.1. DÉMARCHE D'ÉLABORATION DE LA LISTE DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DEC-B

La démarche retenue dans le RPrS de l'EPR2 pour élaborer la liste des conditions de fonctionnement DEC-B (à savoir les scénarios comprenant la fusion du cœur) caractérise ces dernières essentiellement à partir des paramètres physiques que sont la pression dans le circuit primaire du réacteur et la puissance résiduelle, à l'instant du début de la fusion du cœur. EDF considère des scénarios « représentatifs » correspondant à l'application avec succès des actions retenues dans les stratégies de conduite prévues en cas d'accident avec fusion du cœur, ainsi que des scénarios « extrêmes » construits à partir d'études de sensibilité aux délais de

⁵ Fondations du réacteur d'une centrale nucléaire.

⁶ Amas de combustibles et d'éléments de structure du cœur d'un réacteur nucléaire fondus et mélangés, pouvant se former en cas d'accident avec fusion du cœur.

⁷ Le risque de criticité est défini comme le risque de démarrage d'une réaction nucléaire en chaîne lorsqu'une masse de matière fissile trop importante est rassemblée au même endroit.

⁸ La sous-criticité correspond au maintien des conditions de sûreté permettant d'éviter le démarrage intempestif d'une réaction nucléaire en chaîne.

réalisation par les opérateurs de ces actions. Ces derniers scénarios, en vérifiant l'absence d'effet falaise⁹ dans l'analyse de risque, permettent de s'assurer de la robustesse des moyens de limitation des conséquences des conditions de fonctionnement DEC-B.

La sélection des conditions de fonctionnement DEC-B de l'EPR2 se base ainsi principalement sur des principes déterministes. Toutefois, une étude probabiliste de sûreté de niveau 2 (EPS2) de l'EPR2, quantifiant les probabilités de rejets de produits de fission en cas d'accident avec fusion du cœur, permettra de vérifier, pour un nombre étendu de scénarios réalistes, le caractère suffisant du dimensionnement des dispositions DEC-B. Ceci est conforme aux préconisations figurant dans le guide de l'ASN n° 22 en référence [1].

L'IRSN estime que la démarche d'élaboration de la liste des conditions de fonctionnement DEC-B de l'EPR2, similaire à celle mise en œuvre dans le rapport de sûreté (RDS) de l'EPR de Flamanville, est satisfaisante à ce stade du projet. L'utilisation *a posteriori* des EPS2 permettra de conforter cette liste.

2.2. LISTE DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DEC-B ET DES DISPOSITIONS DEC-B

La mise en œuvre par EDF de la démarche mentionnée *supra* aboutit à une liste de conditions de fonctionnement DEC-B qui n'appelle pas de remarque de l'IRSN à ce stade de l'avancement du projet.

En accord avec la décision de l'ASN en référence [3], une liste de dispositions DEC-B est présentée dans le RPrS. Le principe de ces dispositions est similaire à celui des dispositions retenues sur l'EPR de Flamanville et les autres EPR (Finlande, Chine, Royaume-Uni), ce qui permet de bénéficier du retour d'expérience de leur conception.

L'analyse de l'IRSN s'est dès lors portée sur les conditions de fonctionnement DEC-B utilisées pour dimensionner chacune des dispositions DEC-B et vérifier leur robustesse. Celles-ci visent à être « enveloppe » des autres conditions de fonctionnement DEC-B. Aussi, pour chaque disposition DEC-B, une liste particulière de conditions de fonctionnement DEC-B, c'est-à-dire de scénarios d'étude, est définie de manière à maximiser les chargements (pression, température, irradiation) spécifiques à chacun des phénomènes physiques pour lesquels la disposition DEC-B permet de prévenir ou de limiter les conséquences.

Le RPrS présente ainsi les conditions de fonctionnement DEC-B utilisées pour dimensionner les dispositions DEC-B relatives à la gestion de la pressurisation du circuit primaire, c'est-à-dire le système de dépressurisation du RCP au moyen de vannes de décharge dédiées. L'IRSN considère que les scénarios retenus dans le RPrS permettent d'évaluer les grandeurs caractéristiques de l'état du circuit primaire liées à la dépressurisation volontaire de ce circuit *via* l'ouverture des vannes de décharge du circuit primaire, notamment le niveau de la pression dans le circuit primaire à la rupture de la cuve, ainsi que de vérifier le bon dimensionnement et la robustesse du système de dépressurisation du circuit primaire du réacteur lors d'un accident avec fusion du cœur.

Le RPrS présente également la liste des conditions de fonctionnement DEC-B utilisées pour dimensionner les dispositions DEC-B relatives à la gestion de l'hydrogène dans l'enceinte, c'est-à-dire le système de contrôle des gaz combustibles. La démarche d'identification des scénarios de cette liste, basée notamment sur des critères de sélection relatifs aux caractéristiques du relâchement d'hydrogène et de vapeur dans l'enceinte, est considérée acceptable. L'IRSN estime néanmoins que les informations contenues à ce stade dans le RPrS concernant le choix des scénarios retenus pour l'analyse approfondie du risque hydrogène ainsi que les calculs tri-dimensionnels de distribution et de combustion d'hydrogène annoncés par EDF devront être complétés, ce à quoi EDF s'est engagé (voir l'engagement n° 1 présenté en annexe 2). Au cours de l'expertise, l'IRSN a en outre

⁹ Altération brutale du comportement d'une installation, que suffit à provoquer une légère modification du scénario envisagé pour un accident dont les conséquences sont alors fortement aggravées.

souligné que l'emplacement des recombineurs d'hydrogène¹⁰ au sein de chaque local devait être précisé compte tenu de l'impact de ce positionnement sur leur efficacité. Sur ce point, EDF a pris l'engagement n° 2 présenté en annexe 2. L'IRSN estime acceptables ces deux engagements dans leur principe, mais considère leur échéance trop tardive et souhaite que les compléments attendus concernant le choix des scénarios retenus pour l'analyse approfondie du risque hydrogène, les calculs tri-dimensionnels de distribution et de combustion d'hydrogène ainsi que les règles de positionnement des recombineurs dans le bâtiment du réacteur lui soient transmis dans un délai tel qu'il puisse se prononcer sur le risque hydrogène dans le cadre de l'instruction de la demande d'autorisation de création.

Le RPrS présente aussi la liste des conditions de fonctionnement DEC-B utilisées pour dimensionner les dispositions DEC-B relatives à la gestion de l'érosion du béton du radier de l'enceinte par le corium, c'est-à-dire le système de récupération et de stabilisation du corium (ou récupérateur de corium). Le transfert de corium de la cuve vers la salle d'étalement du récupérateur de corium se caractérise par une phase initiale de rétention et de collecte de toute la masse de corium dans le puits de cuve¹¹ et, après ablation de béton sacrificiel et percée d'une trappe fusible, un écoulement passif du corium et une relocalisation dans la salle d'étalement située à côté du puits de cuve, où le corium doit être stabilisé à long terme. Le RPrS considère deux scénarios de fusion du cœur, l'un menant à une percée précoce de la cuve, l'autre à une percée tardive. EDF montre alors dans le RPrS que l'étude du dimensionnement du récupérateur de corium ne nécessite pas d'autres scénarios de fusion du cœur. L'IRSN n'a pas de remarque sur cette démarche, similaire à celle utilisée pour l'EPR de Flamanville pour l'étude de la stabilisation du corium hors cuve. L'IRSN estime que la liste des conditions de fonctionnement DEC-B proposée, à ce stade, dans le RPrS, pour dimensionner et vérifier l'efficacité du système de récupération et de stabilisation du corium, est satisfaisante.

Enfin, le RPrS présente la liste des conditions de fonctionnement DEC-B utilisées pour dimensionner les dispositions DEC-B relatives à la gestion de la pressurisation lente dans l'enceinte, c'est-à-dire le système EVU dont le rôle est d'abaisser la pression et la température de l'atmosphère de l'enceinte de confinement afin de garantir le maintien de son intégrité et le respect des profils de qualification des matériels situés dans l'enceinte de confinement dans les conditions de fonctionnement DEC-B. Tout comme pour l'EPR de Flamanville, un scénario de référence conduisant rapidement à la fusion du cœur et à une pressurisation rapide de l'enceinte est choisi. L'IRSN estime le choix de ce scénario de référence satisfaisant pour dimensionner et vérifier l'efficacité des dispositions prévues pour limiter la pression et la température dans l'enceinte. À un stade ultérieur, les EPS2 et leurs calculs support permettront de conforter le caractère enveloppe de ce scénario de référence. Parmi l'ensemble des conditions de fonctionnement DEC-B, ce scénario de référence est celui qui mène notamment aux températures de gaz les plus élevées dans l'enceinte de confinement. Il convient néanmoins de vérifier si le déclenchement de l'ignition de l'hydrogène par les recombineurs¹² pour ce scénario est possible, ce phénomène pouvant entraîner des températures encore plus élevées dans l'enceinte, ce à quoi EDF s'est engagé (voir l'engagement n° 3 présenté en annexe 2). Toutefois, si le critère de déclenchement de l'ignition de l'hydrogène par les recombineurs pour ce scénario de référence n'était jamais atteint, il conviendrait également de vérifier que ce scénario couvre toujours, en termes de température, les autres conditions de fonctionnement DEC-B, en particulier les scénarios utilisés pour dimensionner les dispositions DEC-B relatives à la gestion de l'hydrogène dans l'enceinte en considérant, pour ces derniers, l'impact de l'ignition potentielle des gaz inflammables dans l'enceinte par les recombineurs. À cet égard, **l'IRSN formule l'observation présentée en annexe 3.**

¹⁰ Équipements réduisant de manière passive la présence d'hydrogène dans l'enceinte. Le principe de fonctionnement est le suivant : l'hydrogène, mélangé à l'oxygène, à l'azote et à la vapeur d'eau contenus dans l'atmosphère de l'enceinte, est recombéné en vapeur d'eau au contact d'un catalyseur contenu sur des plaques.

¹¹ Compartiment du réacteur contenant la cuve.

¹² Possible inflammation des gaz combustibles dans l'enceinte, lorsque, au niveau d'un ou de plusieurs recombineurs d'hydrogène, la concentration locale d'hydrogène atteint un pourcentage volumique déterminé expérimentalement.

En outre, l'IRSN estime, comme EDF, que le critère d'activation de l'EVU utilisé dans les études des conditions de fonctionnement DEC-B doit être identique à celui qui sera proposé dans le futur guide de gestion des accidents avec fusion du cœur de l'EPR2. À cet égard, ce critère ne doit pas être uniquement lié au temps nécessaire à la mise en œuvre de l'EVU mais doit prendre également en considération le risque lié à la combustion d'hydrogène, **ce qui fait l'objet de la recommandation de l'IRSN présentée en annexe 1.**

Pour ce qui concerne la démarche de prévention du risque de retour en criticité du corium lors d'une condition de fonctionnement DEC-B, cinq configurations géométriques (trois en cuve et deux hors cuve) sont considérées pour les scénarios d'accident avec fusion du cœur représentatifs. Un seul scénario extrême est défini pour montrer l'absence d'effet falaise sur le risque de retour en criticité du corium en cuve, en supposant une injection d'eau retardée dans la cuve. EDF se base ensuite sur les calculs réalisés dans le cadre du rapport de sûreté de l'EPR de Flamanville pour justifier la sous-criticité des configurations d'étude pour l'EPR2. Aucun calcul de criticité spécifique n'a été réalisé à ce stade. Si l'IRSN estime satisfaisant le choix des configurations d'étude du risque de retour en criticité lors d'un accident de fusion du cœur (en cuve et hors cuve) pour l'EPR2, il estime en revanche que les informations contenues dans le RPrS sont insuffisantes pour pouvoir considérer que les calculs réalisés dans le cadre du RDS de l'EPR de Flamanville permettent de justifier l'absence de risque de retour en criticité pour l'EPR2. Des études complémentaires sont donc attendues dans le cadre de la demande de mise en service de l'EPR2, ce à quoi EDF s'est engagé (voir l'engagement n° 4 présenté en annexe 2).

En conclusion, l'IRSN estime acceptables la liste des conditions de fonctionnement DEC-B ainsi que la liste des dispositions DEC-B présentées dans le RPrS.

L'IRSN estime en outre que les conditions de fonctionnement DEC-B retenues pour le dimensionnement et la vérification de la robustesse de ces dispositions sont pertinentes.

L'IRSN estime toutefois que les informations contenues, à ce stade, dans le RPrS devront être complétées concernant le choix des scénarios retenus pour l'analyse approfondie du risque hydrogène et la démonstration de l'absence de retour en criticité du corium lors d'un accident avec fusion du cœur.

La suffisance des dispositions DEC-B pour respecter les objectifs de sûreté associés aux accidents avec fusion du cœur pour l'EPR2 sera analysée dans le cadre de l'instruction de la demande d'autorisation de création.

2.3. RÈGLES APPLICABLES AUX ÉTUDES DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DEC-B

Conformément à la décision de l'ASN en référence [3], le RPrS précise les hypothèses, les règles et les méthodes retenues pour évaluer les conséquences potentielles des conditions de fonctionnement DEC-B.

En particulier, l'étude d'une condition de fonctionnement DEC-B ne prend pas en compte d'aggravant¹³.

Par ailleurs, les indisponibilités liées à la maintenance préventive des systèmes intervenant dans les conditions de fonctionnement DEC-B ne sont pas considérées dans les études déterministes de ces situations.

Les hypothèses d'étude sont définies en fonction de la connaissance issue de la recherche sur les différents phénomènes physiques qui interviennent au cours de la progression de l'accident de fusion du cœur. Les paramètres sont choisis par EDF pour couvrir raisonnablement les incertitudes physiques de modélisation si elles sont avérées. En complément, des études de sensibilité portant sur le délai de réalisation des actions par les opérateurs sont réalisées afin de garantir la présence de marges suffisantes par rapport à un éventuel effet falaise.

¹³ Aggravant : dans une étude de sûreté, il s'agit de la défaillance unique la plus défavorable d'un équipement sollicité pour ses effets bénéfiques lors de l'étude d'un incident, d'un accident ou d'une agression, indépendante de l'événement déclencheur pris en compte (définition issue du guide de l'ASN N° 22 en référence [1]).

En outre, comme le préconise le guide de l'ASN n° 22 en référence [1], EDF se fixe comme objectif que les équipements valorisés dans l'étude des conditions de fonctionnement DEC-B aient un niveau de classement adéquat, soient qualifiés aux conditions d'ambiance représentatives de la durée de leurs missions et que leur mise en service ou hors service, dès lors qu'elle nécessite une intervention humaine, tienne compte des conditions d'accessibilité et de faisabilité, en particulier du point de vue radiologique.

L'IRSN estime satisfaisantes les règles applicables aux études des conditions de fonctionnement DEC-B présentées dans le RPrS, mais rappelle que les règles générales d'exploitation devront être suffisamment restrictives concernant les indisponibilités liées à la maintenance préventive des systèmes intervenant dans les conditions de fonctionnement DEC-B pour justifier que ces indisponibilités n'ont pas à être considérées dans les études déterministes de ces situations.

3. CONCLUSION

Compte tenu du retour d'expérience de l'expertise des dispositions de gestion d'un accident de fusion du cœur mises en place sur l'EPR de Flamanville, des engagements pris par EDF au cours de la présente expertise et sous réserve de la prise en compte de la recommandation formulée en annexe 1, l'IRSN estime que :

- la démarche d'élaboration de la liste des conditions de fonctionnement DEC-B de l'EPR2 est satisfaisante à ce stade du projet. L'utilisation *a posteriori* des EPS2 permettra de conforter cette liste ;
- la liste, obtenue avec cette démarche, des conditions de fonctionnement DEC-B, ainsi que la liste des dispositions DEC-B, présentées dans le RPrS, sont acceptables. L'IRSN estime en outre que les conditions de fonctionnement DEC-B retenues pour le dimensionnement et la vérification de la robustesse de ces dispositions sont pertinentes ;
- les règles applicables aux études des conditions de fonctionnement DEC-B présentées dans le RPrS sont satisfaisantes, sous réserve que les règles générales d'exploitation soient suffisamment restrictives concernant les indisponibilités liées à la maintenance préventive des systèmes intervenant dans les conditions de fonctionnement DEC-B pour justifier que ces indisponibilités n'ont pas à être considérées dans les études déterministes de ces situations.

La suffisance des dispositions DEC-B pour respecter les objectifs de sûreté associés aux accidents avec fusion du cœur pour l'EPR2 sera analysée dans le cadre de l'instruction de la demande d'autorisation de création.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2022-00205 DU 28 OCTOBRE 2022

Recommandation de l'IRSN

L'IRSN recommande qu'EDF justifie, dans le cadre de l'instruction de la demande d'autorisation de création, le critère d'activation des deux files EVU lors d'un accident avec fusion du cœur au regard du risque lié à la combustion d'hydrogène.

ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2022-00205 DU 28 OCTOBRE 2022

Engagements principaux de l'exploitant

Engagement N° 1

EDF justifiera dans le rapport de sûreté associé à la DMES¹⁴ que les scénarios retenus pour l'analyse détaillée du risque hydrogène permettent de couvrir l'ensemble des conditions de fonctionnement DEC-B.

Engagement N° 2

EDF mettra à jour le sous-chapitre 6.1.3 de la version du rapport de sûreté associé à la DMES pour indiquer les règles de positionnement des recombineurs dans le bâtiment réacteur.

Engagement N° 3

Les éléments justificatifs de la concentration en hydrogène dans les différents compartiments pour le scénario d'APRP GB¹⁵ seront fournis sous forme de fiche réponse à échéance de la mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté pour envoi en consultation.

Par ailleurs, EDF présentera à échéance de la DMES les concentrations en hydrogène dans les compartiments de l'enceinte en APRP GB justifiant l'absence d'ignition ou vérifiera l'absence d'impact de la prise en compte de l'ignition de l'hydrogène dans les cas d'APRP GB sur la qualification des composants utilisés en accident avec fusion du cœur.

Engagement N° 4

EDF présentera dans le chapitre 16 du rapport de sûreté associé à la DMES de l'EPR2 :

- un calcul spécifique justifiant l'absence de retour en criticité en AG¹⁶ en présence d'eau borée pour la configuration géométrique du cœur intacte mais avec les barres de contrôle fondues ;
- une étude de l'absence de retour en criticité en AG des cycles les plus réactifs de la gestion prévisionnelle moxée, si une telle gestion est retenue.

EDF fournira à échéance DMES, dans une fiche réponse, une étude de l'absence de retour en criticité en AG en cas d'injection d'eau claire lorsque le corium est étalé dans la zone d'étalement du récupérateur de corium, celle-ci n'ayant pas de lien avec les scénarios DEC-B du chapitre 16.2.

¹⁴ DMES : demande de mise en service.

¹⁵ APRP GB : accident de perte de réfrigérant primaire résultant d'une grosse brèche du circuit primaire.

¹⁶ AG : accident grave, c'est-à-dire accident avec fusion du cœur.

ANNEXE 3 À L'AVIS IRSN N° 2022-00205 DU 28 OCTOBRE 2022

Observation de l'IRSN

L'IRSN estime qu'EDF devrait justifier, dans le cadre de l'instruction de la demande d'autorisation de création, que la prise en compte de l'ignition des gaz inflammables dans l'enceinte par les recombineurs, pour le scénario d'accident de perte de réfrigérant primaire résultant d'une grosse brèche du circuit primaire et pour les scénarios retenus pour l'analyse du risque hydrogène définis dans le rapport de sûreté de l'EPR2, ne remet pas en cause les conditions de température dans l'enceinte prises en compte pour la qualification des composants utilisés lors d'un accident avec fusion du cœur.