

Fontenay-aux-Roses, le 5 juillet 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2024-00106

---

**Objet :** INB n° 172 / RJH  
**Démarche et hypothèses d'études mises en œuvre pour le noyau dur de l'installation**

---

**Réf. :** [1] Saisine ASN CODEP-DRC-2022-020776 du 6 octobre 2022.  
[2] Décision ASN n°2015-DC-0477 du 8 janvier 2015.  
[3] Lettre ASN - CODEP-DRC-2020-002052 du 8 avril 2020.

---

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le dossier transmis par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) concernant les hypothèses et la démarche qu'il met en œuvre pour concevoir et dimensionner les dispositions constituant le noyau dur (ND) du réacteur Jules Horowitz (RJH).

### 1. CONTEXTE

Le RJH est un réacteur de recherche, de type « piscine », dédié aux études du comportement des matériaux et des combustibles sous irradiation pour les réacteurs électrogènes, ainsi qu'à la production de radio-isotopes à usage médical et industriel. Ce réacteur est en cours de construction sur le site du CEA de Cadarache. Il s'agit de l'installation nucléaire de base (INB) n° 172.

À la suite de l'accident survenu le 11 mars 2011 sur la centrale de Fukushima Daiichi, le CEA a réalisé une évaluation complémentaire de la sûreté (ECS) du RJH qui a conduit à la définition d'un « *noyau dur* » (ND) de dispositions matérielles et organisationnelles visant, en cas de « *situations ND* », à prévenir un accident grave ou en limiter la progression, à limiter les rejets radioactifs massifs et à lui permettre d'assurer les missions qui lui incombent au titre de la gestion de crise.

La prescription [CEA-INB172-ND00] de la décision de l'ASN du 8 janvier 2015, citée en deuxième référence, définit ces « *situations ND* » comme :

- la perte totale des alimentations électriques n'appartenant pas au noyau dur ;
- la perte totale des systèmes de refroidissement n'appartenant pas au noyau dur ;
- les agressions externes retenues pour le noyau dur ;
- les situations résultant de l'état de l'installation, du site et de son environnement après une agression externe retenue pour le noyau dur.

La prescription [CEA-INB172-ND00] distingue, parmi les dispositions matérielles du ND, les systèmes, structures et composant (SCC) « *existants* », c'est-à-dire ayant « *fait l'objet d'une spécification au titre de la démonstration* ».

de sûreté nucléaire présentée dans le rapport préliminaire de sûreté remis en vue de l'obtention du décret du 12 octobre 2009 susvisé ou défini et spécifié pour réalisation avant la remise du rapport ECS du 13 septembre 2011 susvisé » des autres SCC dits « nouveaux ».

La prescription [CEA-INB172-ND04] stipule que les SSC ND existants peuvent faire l'objet d'une justification du respect de leurs exigences fonctionnelles au séisme de niveau noyau dur (SND) sur la base de méthodes déterministes réalistes (étude de robustesse), alors que les SSC ND nouveaux doivent être conçus sur la base « des règles de conception et de construction codifiées ou à défaut conformes à l'état de l'art ».

Conformément à la demande de l'ASN, l'expertise de l'IRSN a porté sur les hypothèses mises en œuvre dans les études de sûreté associées aux agressions extrêmes de niveau noyau dur, la démarche retenue pour les études de robustesse des équipements mécaniques existants et la justification de la robustesse au SND des ancrages d'équipements disposés dans l'installation.

De l'évaluation du dossier du CEA, complété des informations recueillies au cours de l'expertise, l'IRSN retient les principaux points développés ci-après.

## 2. ÉLÉMENTS DE DESCRIPTION DU RJH

Le RJH est principalement constitué d'une unité nucléaire (UN) regroupant le bâtiment réacteur (BUR) et le bâtiment des annexes nucléaires (BUA), ainsi que de bâtiments supports.

Le BUR abrite notamment la piscine réacteur (RER), qui accueille en particulier le bloc pile contenant le cœur du réacteur, la piscine intermédiaire d'entreposage du BUR destinée en particulier à l'entreposage des éléments combustibles irradiés (ECI) ainsi que le sas faisant la liaison entre le BUR et le BUA.

Le BUA abrite un ensemble de piscines et de canaux dont notamment la piscine d'entreposage des ECI.

## 3. CONSTITUTION DU NOYAU DUR DU RJH

Dans le cadre de la présente expertise, le CEA a transmis une liste actualisée des SSC ND et SSC supports du ND<sup>1</sup>. Cette liste comprend un nouveau bâtiment dénommé bâtiment noyau dur (BND). Ce bâtiment aura notamment pour mission de permettre au CEA d'assurer la conduite et la surveillance de l'état de l'installation en situation ND. La liste actualisée comprend également la ligne de dégonflage de l'enceinte du BUR et les systèmes de filtration associés, conformément à la prescription [CEA-INB172-ND02]<sup>2</sup> de la décision de l'ASN du 8 janvier 2015 citée en deuxième référence. **Ces éléments n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.**

S'agissant des accidents graves retenus pour définir le ND du RJH, le CEA indique dans son dossier qu'il ne retient désormais<sup>3</sup> plus l'accident grave de fusion du cœur à l'air, considérant que les différentes dispositions matérielles prévues en cas de situations ND garantissent le maintien sous eau du cœur et des ECI entreposés en piscines. Or, l'IRSN relève que le ND du RJH comprend des SSC de prévention de l'accident de fusion à l'air du cœur et des ECI entreposés en piscines. Dès lors, l'IRSN considère que le CEA doit continuer de retenir l'accident de fusion du cœur et des ECI à l'air comme situation « noyau dur ». **Sur ce point, le CEA a pris l'engagement n° 1, rappelé en annexe 2 au présent avis, que l'IRSN estime satisfaisant.**

<sup>1</sup> SSC supports du ND : SSC dont la défaillance entraîne celle des SSC ND.

<sup>2</sup> « L'exploitant ajoute aux SSC du noyau dur la ligne de dégonflage de l'enceinte du réacteur, y compris les systèmes de filtration associés ».

<sup>3</sup> À l'issue de l'ECS du RJH, les accidents graves retenus par le CEA étaient la fusion sous eau du cœur du réacteur et la fusion à l'air du cœur du réacteur ou des éléments combustibles entreposés en piscine de refroidissement.

Enfin, le CEA a précisé la liste des SSC ND qu'il considérait comme « *nouveaux* » au sens de la prescription [CEA-INB172-ND00]. **Cette liste n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

## 4. DÉMARCHE DE SÛRETÉ MISE EN ŒUVRE POUR LE NOYAU DUR DU RJH

La démarche d'analyse du CEA à l'égard des agressions ND met en œuvre une méthode cohérente avec celle présentée dans la version provisoire du rapport de sûreté pour les agressions de référence, **ce qui est satisfaisant**. L'avis de l'IRSN sur la prise en compte des agressions externes ND et des cumuls qui leur sont associés est présenté aux paragraphes 6 et 7 du présent avis.

S'agissant des agressions induites ND, le CEA a précisé, au cours de l'expertise, sa démarche d'identification des agresseurs des SSC ND et de leurs SSC supports. Ces agresseurs sont « *les SSC qui, sous l'effet d'une agression externe noyau dur, peuvent potentiellement agresser un SSC ND ou un SSC support et ainsi compromettre l'atteinte de l'exigence fonctionnelle noyau dur du SSC ND ou support correspondant* ». **Ceci n'appelle pas de remarque, tout comme la liste des agressions induites ND retenue par le CEA.**

S'agissant des règles d'études à l'égard des situations ND, le CEA retient des règles cohérentes avec celles définies pour l'analyse des situations de limitation du risque (SLR) présentées dans la version provisoire du rapport de sûreté, **ce qui n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

S'agissant du classement de sûreté des SSC ND et des exigences associées, le CEA a précisé au cours de l'expertise que le classement de sûreté de rang 3<sup>4</sup> considéré pour les EIS des SSC ND est justifié dans le cadre d'une approche proportionnée aux enjeux, **ce qui n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Par ailleurs, les codes de conception, de fabrication et de suivi en service retenus par le CEA pour les SSC du ND et SSC supports **n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN. Il est en de même pour la qualification aux conditions d'ambiance ND et la surveillance prévue pour ces équipements.**

## 5. ÉVALUATION DE LA ROBUSTESSE DES SSC EXISTANTS

### 5.1. ANCRAGES

La démarche de vérification de la robustesse des ancrages au SND mise en œuvre par le CEA consiste à considérer que l'existence d'une marge minimale de 50 % sur les caractéristiques des ancrages par rapport aux critères de conception retenus au regard du séisme de dimensionnement (SDD) permet d'assurer leur exigence de comportement en cas de SND.

Sur ce point, l'IRSN rappelle que le chargement considéré pour le dimensionnement au SDD des équipements et de leurs ancrages comprend non seulement la sollicitation sismique, variable et alternée, mais également les chargements d'accompagnement, généralement quasi-statiques. Ainsi, les efforts retenus pour le dimensionnement des ancrages ne sont donc pas nécessairement proportionnels aux seuls effets du séisme. Par conséquent, les marges de dimensionnement disponibles au regard du SDD ne sont *a priori* pas suffisantes pour assurer la résistance à l'égard du SND.

Le CEA estime pour sa part que seuls les supports ancrés au sol sont concernés par des effets potentiellement antagonistes entre le séisme et les chargements d'accompagnement. **Sur ce point, le CEA a pris l'engagement n° 2, rappelé en annexe 2 au présent avis. L'IRSN estime que cet engagement n'est pas suffisant car son périmètre d'application ne couvre pas tous les cas de figure et toutes les différentes combinaisons**

---

<sup>4</sup> La démarche de classement de sûreté des SSC définie par le CEA pour le RJH comprend trois rangs, le rang 1 regroupant les équipements les plus importants au regard des enjeux de sûreté de l'installation.

**d'actions susceptibles de solliciter un ancrage en cas de séisme de niveau SND. Aussi, l'IRSN émet la recommandation n° 1 présentée en annexe 1 au présent avis.**

Le CEA présente, en cas de séisme de niveau SDD, les marges de dimensionnement communes à tous les ancrages. Il indique à ce sujet avoir retenu, pour le calcul des capacités résistantes des ancrages, les coefficients partiels de résistance des matériaux associés aux situations permanentes plutôt que ceux correspondant aux situations accidentelles. Il présente également les marges issues des accélérogrammes de sols utilisés pour déterminer les spectres transférés, celles en lien avec les positions de certains points de définition des spectres transférés par rapport aux emplacements réels des ancrages considérés, ainsi que les marges associées à la prise en compte de valeurs d'amortissement des spectres sismiques. **L'IRSN considère que les marges précitées peuvent être prises en compte, mais que leur valorisation quantitative est à justifier au cas par cas.**

**S'agissant des platines pré-scellées**, le CEA identifie plusieurs sources de marges, parmi lesquelles la ductilité des matériaux utilisés, obtenue sur la base de résultats d'essais de résistance. L'IRSN note que la transposabilité de ces essais aux ancrages du RJH n'est pas démontrée. **Sur ce point, le CEA a pris l'engagement n° 3, rappelé en annexe 2 au présent avis, que l'IRSN estime satisfaisant.**

Le CEA identifie par ailleurs, également sur la base d'essais, des marges de dimensionnement des ancrages des platines pré-scellées au regard du mode de ruine du béton par effet de levier. Pour autant, la transposabilité des essais valorisés aux ancrages du RJH n'est pas démontrée. **Le CEA a pris à cet égard l'engagement n° 4, rappelé en annexe 2 au présent avis, que l'IRSN estime satisfaisant.**

Le CEA met aussi en exergue des marges sur la résistance des ancrages à l'égard du risque d'éclatement du béton en bord de dalle. En effet, le CEA estime que les formules de l'Eurocode 2 Partie 4 permettant d'évaluer l'absence de risque d'éclatement du béton sont conservatives. Sur ce point, l'IRSN rappelle tout d'abord que les ancrages précités ont été dimensionnés selon le RCC-G RJH. L'IRSN considère de plus que l'usage concomitant de plusieurs règlements de calcul d'ouvrages de génie civil est à proscrire, chaque code ou recueil de règles de conception et de construction formant un ensemble cohérent visant à représenter un ouvrage et les différents phénomènes auxquels il est soumis. **L'IRSN estime en conséquence que les marges identifiées sur cette base ne sont pas applicables au RJH.**

Le CEA valorise en outre des marges de dimensionnement à l'égard du risque de ruine du béton en bord de dalle induit par les efforts de cisaillement sur les ancrages. Sur la base d'essais, le CEA conclut à l'influence du nombre de rangées d'ancrages sur la prévention de ce risque. Sur ce sujet, si des marges de dimensionnement peuvent exister au regard de la prise en compte d'une seule rangée d'ancrages dans les codes de conception et de construction, **l'absence d'état de l'art convergé sur ce sujet conduit l'IRSN à considérer que les dispositions minimales des codes ou recueils de règles de conception et de construction doivent être respectées.**

Le CEA identifie également des marges de dimensionnement quant à la résistance à la compression du béton, ce paramètre étant l'un des plus influant sur la robustesse des ancrages. Le CEA précise que la résistance caractéristique à la compression minimale des bétons mis en œuvre pour la réalisation de l'UN du RJH est supérieure à la résistance caractéristique du béton prise en compte dans les calculs de vérification des ancrages au SDD. Il ajoute que ces caractéristiques sont à vérifier au cas par cas, localement, en fonction du support béton de chaque ancrage. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Des marges de dimensionnement par rapport à l'environnement réel des ancrages sont en outre identifiées par le CEA, la résistance des platines pré-scellées diminuant fortement en présence d'autres platines ou de trémies à proximité. Dans ce contexte, le CEA considère que les codes ou recueils de règles de conception et de construction sont conservatifs à l'égard de la prise en compte de la surface du béton perdue entre deux platines voisines et met en œuvre une démarche visant à prendre en compte l'environnement réel des ancrages pour dégager des marges. **Sur ce point, l'IRSN souligne qu'une telle approche ne peut être mise en œuvre qu'au cas par cas et sur la base d'un dossier « Tel Que Construit » (TQC) complet des ancrages.**

Enfin, le CEA identifie des marges de dimensionnement au regard de la densité d'armatures dans la dalle en béton, le ferrailage ayant un impact favorable sur la capacité résistante des ancrages. **L'IRSN partage le fait que des armatures « surabondantes » peuvent être valorisées mais que, là encore, une analyse au cas par cas doit être menée pour évaluer ces marges.**

**S'agissant des ancrages chevillés**, le CEA indique un taux de travail maximal en cas de SDD de 66% (poussé à 80% pour les ancrages chevillés des équipements de types « ventilation » et « conditionnement des locaux »). Il indique que ces marges seront analysées dans des notes dédiées au cas par cas. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN. Il appartiendra au CEA d'intégrer l'état TQC des ancrages et leur environnement réel dans ces analyses.**

**Concernant le cas particulier des chevilles chimiques**, le CEA rappelle qu'il utilise deux types de produits issus du même fournisseur. L'IRSN rappelle que le RCC-G RJH proscrit l'utilisation de ces chevilles au regard de la sensibilité de leurs caractéristiques mécaniques aux conditions de température et d'irradiation auxquelles elles sont soumises. Dans ce contexte, le CEA a transmis un dossier de justification du comportement des chevilles chimiques aux conditions d'ambiance rencontrées dans le RJH. Ce dossier est basé sur des essais réalisés par le fournisseur des chevilles. L'IRSN relève que ces essais ne portent que sur la résine mise en œuvre, mais ne prennent pas en compte le système d'ancrage dans son ensemble. Au cours de l'expertise, le CEA a indiqué qu'un test d'irradiation a été réalisé sur un ancrage couplé à une cheville chimique, complété par un essai de traction avec test d'arrachement. **Pour l'IRSN, en l'état des données et informations disponibles, la qualification des chevilles chimiques à l'incendie, à l'irradiation et au séisme n'est pas acquise.** Pour l'incendie, le CEA prévoit de mettre en place des dispositions de protection permettant de limiter les températures atteintes au niveau des résines à des valeurs compatibles avec leur résistance, **ce qui est satisfaisant.** **Sur le sujet des chevilles chimiques, le CEA a pris l'engagement n° 5, rappelé en annexe 2 au présent avis, de compléter leur dossier de qualification, notamment à l'égard de l'irradiation, afin de tenir compte de leur système d'ancrage dans son ensemble.** L'IRSN relève que l'engagement du CEA ne met pas en cause l'installation des chevilles chimiques et souligne le fait que ceci constitue une prise de risque industriel de la part du CEA. **Aussi, dans le cas où la qualification ne serait pas acquise, il appartiendrait au CEA d'examiner les conséquences potentielles d'une incapacité de ces ancrages à assurer les exigences qui leur sont attribuées.**

## 5.2. ÉQUIPEMENTS MÉCANIQUES

Le périmètre d'application de la démarche mise en œuvre par le CEA pour l'analyse de robustesse au SND des SSC existants du ND, supports au ND et agresseurs du ND, **n'appelle pas de remarque.** Par ailleurs, les exigences fonctionnelles associées aux SCC que le CEA retient dans son analyse de robustesse au SND **sont satisfaisantes.**

En outre, les hypothèses génériques retenues par le CEA (états de fonctionnement de l'installation, conditions d'ambiance, chargements), ainsi que certaines hypothèses spécifiques ou locales (plastifications, spectres transférés, paramètres de fonctionnement réalistes, calculs dédiés, coefficients d'amortissement) **n'appellent pas de remarque.**

S'agissant de l'absence de prise en compte de répliques sismiques en cas de SND, le CEA a indiqué au cours de l'expertise que *« la démarche d'analyse de robustesse des SSC existants a pour objectif de montrer l'absence d'effet falaise à la suite d'une agression extrême. Dans le cadre de l'agression extrême sismique, le séisme est postulé de niveau SND sans réalité physique et donc sans réplique sismique ».* **Pour l'IRSN, ceci n'est pas satisfaisant.** En effet, la considération du SND, bien que postulé et construit sur la base du SDD, n'écarte pas le fait que de possibles répliques sont à prendre en compte dans l'analyse. De même, la construction forfaitaire du SND ne garantit pas que ce dernier couvre un séisme ND suivi de répliques. **Aussi, l'IRSN considère que le CEA doit justifier que les déformations irréversibles qui résulteraient d'un SND sont suffisamment limitées pour ne pas mettre en cause, en cas de réplique sismique, la fonctionnalité d'équipements dotés d'une exigence de comportement.** Ceci fait l'objet de la recommandation n° 2 présentée en annexe 1 au présent avis.

S'agissant de la prise en compte éventuelle de coefficients de réduction traduisant la ductilité et la sur-résistance des matériaux, l'IRSN considère que seuls des essais spécifiques représentatifs des historiques de fonctionnement des SSC considérés peuvent justifier leur valorisation. **Sur ce point, le CEA a pris l'engagement n° 6, rappelé en annexe 2 au présent avis, que l'IRSN estime satisfaisant.**

Enfin, concernant la qualification par essais des SSC au SND, **l'IRSN estime que la démarche initiale présentée par le CEA, complétée des éléments transmis au cours de l'expertise, est globalement satisfaisante.**

## 6. AGRESSIONS EXTERNES POUR LE « NOYAU DUR »

Ce paragraphe traite des agressions externes ND retenues par le CEA. Afin de vérifier leur pertinence notamment au regard des niveaux de référence, ce paragraphe comprend également, le cas échéant, l'expertise des agressions associées à ces niveaux de référence.

### 6.1. SÉISME NOYAU DUR

Le SND retenu par le CEA pour le dimensionnement des SSC nouveaux et la vérification de la robustesse des SSC existants **n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

### 6.2. INONDATION D'ORIGINE EXTERNE DE RÉFÉRENCE

À l'issue de l'ECS, aucun risque d'effet falaise associé à l'inondation externe n'avait été identifié pour le RJH. Ainsi, le CEA dimensionne les SSC ND (notamment le BND) du réacteur RJH en considérant les aléas de référence retenus pour le dimensionnement du RJH et en prenant en compte les sources d'inondation externe suivantes :

- les crues de rivières (Durance et Ravin de la Bête) ;
- la dégradation ou dysfonctionnement d'ouvrages, de capacités, ou de canalisations de fluides liquides.
- les précipitations ;
- la remontée de la nappe phréatique.

**Les éléments présentés par le CEA au regard des deux premiers points n'appellent pas de remarque.**

S'agissant des précipitations, le CEA majore les pluies centennales, issues de la présentation générale de la sûreté de l'établissement (PGSE) du site de Cadarache, afin de couvrir une pluie millénaire. **Ceci n'appelle pas de remarque sur le plan de la méthode.** L'IRSN rappelle toutefois que les débits de pluie à évacuer sont également fortement dépendants des coefficients de ruissellement retenus. Sur ce sujet, le CEA a précisé qu'une étude de sensibilité aux coefficients de ruissellement était désormais systématiquement réalisée sur le site à la suite d'une demande formulée par l'ASN dans le cadre de l'expertise de la PGSE. Enfin, au regard de la topographie du site, **l'IRSN estime que les pentes prévues devant chaque entrée du bâtiment constituent une disposition constructive satisfaisante pour écarter le risque d'entrée d'eau lié au ruissellement, notamment en cas d'indisponibilité locale du réseau pluvial.**

S'agissant du risque de remontée de la nappe phréatique, le CEA retient un aléa de période de retour centennale pour l'ensemble des bâtiments de l'INB incluant le BND. Le CEA rappelle également, concernant l'UN, la présence du système de protection composé d'une paroi clouée et de son système de drainage ayant la capacité à faire face à une crue exceptionnelle de la nappe, y compris pour des niveaux supérieurs à la crue centennale. Le CEA présente en outre sa démarche de mise en place des systèmes de drainage pour chaque bâtiment de l'INB. **Ces éléments n'appellent pas de remarque.**

### 6.3. NEIGE ET VENT DE RÉFÉRENCE ET EXTRÊMES

Concernant l'agression externe « neige », l'IRSN note que la valeur de charge de neige exceptionnelle retenue pour l'aléa de dimensionnement de référence est supérieure à la valeur de charge de neige exceptionnelle recommandée par l'Eurocode 1-3 pour le département du Vaucluse. Par ailleurs, la charge de neige extrême

retenue pour l'aléa de dimensionnement du ND présente une marge significative par rapport à la charge de neige exceptionnelle retenue pour l'aléa de dimensionnement de référence. **Ces éléments sont acceptables.**

Concernant l'agression externe « vent », l'IRSN note que l'aléa de référence retenu pour le dimensionnement conduit à une majoration d'un facteur d'environ 1,4 de la vitesse de pointe issue de l'application de l'Eurocode pour la région de Cadarache. La vitesse de pointe du vent retenue pour l'aléa de dimensionnement du ND présente une marge significative par rapport à celle retenue pour l'aléa de référence retenu pour le dimensionnement, **ce qui est satisfaisant.**

## 6.4. GRÊLE EXTRÊME

De l'expertise des éléments transmis par le CEA, l'IRSN considère que les dispositions valorisées par le CEA au regard du risque de grêle extrême n'appellent pas de remarque.

## 6.5. TORNADO DE RÉFÉRENCE ET TORNADO EXTRÊME

Le CEA retient pour l'aléa de référence pour le dimensionnement une tornade d'intensité EF2<sup>5</sup>. L'aléa retenu pour le dimensionnement du ND est quant à lui une tornade d'intensité EF3<sup>5</sup>. **Les caractéristiques de ces tornades sont conformes aux valeurs de l'ASN définies en 2021, ce qui est satisfaisant.**

## 6.6. TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES

Pour l'agression de type « *grand chaud* », le CEA définit des conditions climatiques extérieures anormales de courte, moyenne et longue durées (températures CACE). En cas de dépassement de ces conditions, le réacteur serait mis à l'arrêt et maintenu à l'état sûr par les systèmes de sauvegarde. Pour les systèmes de sauvegarde ne bénéficiant pas de l'inertie thermique des bâtiments, le retour d'expérience de la canicule de l'été 2019 a conduit le CEA à prendre en compte, pour le dimensionnement de ces systèmes, deux conditions d'agressions complémentaires aux CACE de courte durée. Ces conditions, nommées Agression Climatique de Référence (ACR) et Agression Climatique Majeure (ACM), permettent ainsi, selon le CEA, non seulement de prendre en compte le retour d'expérience (REX) récent sur le site de Cadarache, mais également les effets du changement climatique. À ce titre, le CEA estime que l'ACM couvre le dimensionnement du RJH jusqu'en 2050 pour l'agression de type « *grand chaud* ».

L'IRSN estime que des compléments sont nécessaires pour justifier les températures associées aux CACE, ainsi que celles associées aux ACR et ACM, notamment au regard de l'impact du changement climatique et de la durée de fonctionnement prévue de l'installation. De plus, il convient de noter que, en cohérence avec le guide n° 22 de l'ASN relatif à la conception des réacteurs à eau sous pression, les niveaux d'aléa à retenir doivent permettre de couvrir des aléas dont la fréquence de dépassement est inférieure à 10<sup>-4</sup>/an. **En conséquence, l'IRSN considère que le CEA doit démontrer que l'installation pourra être mise et maintenue dans un état sûr en cas de températures extrêmes, justifiées au regard de l'impact du changement climatique. Ceci fait l'objet de la recommandation n° 3 présentée en annexe 1 au présent avis.**

Le CEA précise en outre que les marges associées aux températures seront réévaluées au cours des réexamens de sûreté de l'installation, mais ne présente aucune démarche relative à l'adaptation de l'installation en cas de températures plus chaudes que celles initialement prévues. **Au vu des incertitudes sur l'évolution climatique à venir, il appartient au CEA de présenter une stratégie d'adaptation de l'installation en cas de températures futures supérieures à celles prévues dans le cadre du dimensionnement de l'installation.**

---

<sup>5</sup> L'intensité des tornades est quantifiée par l'échelle « améliorée » de Fujita qui comprend 6 degrés, notés de EF0 à EF5, par ordre croissant des dommages provoqués.

Concernant l'agression de type « *grand froid* », le CEA définit des conditions climatiques extérieures anormales de courte, moyenne et longue durées. **Par analogie au grand chaud, l'IRSN estime qu'il appartient au CEA de justifier que le RJH pourra être mis et maintenu dans un état sûr en situation de « grand froid ».**

## 6.7. Foudre extrême

L'aléa « foudre extrême » défini par le CEA **n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Le système de protection (SPF) contre la foudre mis en œuvre sur le BND par le CEA se compose d'un SPF dimensionné à l'aléa foudre de référence, complété de dispositions spécifiques visant à prévenir les risques associés à l'aléa extrême. Le CEA indique de plus que le SPF du BND inclura des pointes caprices dédiées à la capture de courants faibles. **Ceci est satisfaisant.**

## 6.8. Incendie externe extrême

Le CEA ne retient pas l'incendie externe extrême comme une agression potentielle du ND du RJH. Il indique néanmoins qu'un aléa naturel extrême peut induire un feu de la végétation autour de l'installation, mais que cette situation est maîtrisée au moyen de dispositions classiques. Ces dispositions comprennent notamment le débroussaillage, l'aménagement d'une zone dédiée au stationnement des véhicules à une distance notable de l'installation, l'absence de charges calorifiques à proximité de l'installation. **Ceci n'appelle pas de remarque.**

## 6.9. Environnement industriel

De l'expertise des éléments transmis par le CEA, l'IRSN considère que la démarche de prise en compte de l'environnement industriel comme source d'agression potentielle du RJH à la suite d'une situation ND **n'appelle pas de remarque.**

# 7. CUMULS D'AGRESSIONS EXTERNES

Le CEA définit les cumuls d'agressions externes de référence comme les cumuls plausibles d'agressions indépendantes, sans phénomènes déclencheurs antagonistes, ayant un caractère aggravant, c'est-à-dire ayant des conséquences plus importantes que celles relatives à chacune des agressions prises séparément. Le CEA considère que les cumuls simultanés d'agressions externes sont non plausibles, hormis lorsqu'il s'agit de cumuler une agression avec la foudre. Pour les cumuls qu'il considère plausibles, le CEA retient les effets rémanents d'une agression initiatrice avec ceux d'une autre agression indépendante qui survient de manière décalée. Les effets rémanents sont définis comme les effets de l'agression initiatrice qui conduisent à la perte d'équipements de sûreté dont l'indisponibilité perdure au-delà de trois jours.

L'IRSN souligne que, du point de vue de la sûreté, le cumul des effets des agressions survenant de manière simultanée **n'est pas équivalent** à la prise en compte d'effets induits d'agressions survenant de manière décalée. Ainsi, l'IRSN estime que le CEA doit justifier le caractère non plausible des cumuls d'agressions simultanées qu'il a écartés. **Ceci fait l'objet de la recommandation n° 4 présentée en annexe 1 au présent avis.**

Pour les cumuls d'agressions externes extrêmes, le CEA ne retient pas les cas faisant intervenir deux agressions externes extrêmes au regard de leur faible probabilité d'occurrence, **ce qui n'appelle pas de remarque.** Le CEA ne retient pas non plus le cumul simultané d'une agression externe extrême avec une agression externe de référence au regard également des probabilités d'occurrence. Les cumuls d'effets rémanents d'agressions externes extrêmes avec certaines agressions externes de référence sont toutefois retenus. **L'IRSN n'a pas de remarque à ce stade sur la liste des cumuls retenus et souligne en tout état de cause l'avancée notable que constitue la démarche engagée par le CEA à ce sujet.**

## 8. CONCLUSION

À l'issue de son expertise, l'IRSN considère que les hypothèses retenues pour réaliser les études de sûreté associées aux agressions extrêmes de niveau noyau dur, les méthodologies retenues pour les études de robustesse des équipements mécaniques et des ancrages existants sont globalement acceptables, sous réserve de la mise en œuvre des engagements pris à l'issue de l'expertise ainsi que des recommandations formulées dans le présent avis.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2024-00106 DU 05 JUILLET 2024

### Recommandations de l'IRSN

#### Recommandation n° 1

L'IRSN recommande que le CEA justifie, pour l'ensemble des ancrages dotés d'exigences de comportement au SND, le caractère suffisant des marges sismiques issues de leur dimensionnement au SSD.

#### Recommandation n° 2

L'IRSN recommande que, pour les équipements mécaniques du noyau dur concernés par des déformations irréversibles en cas de SND, le CEA justifie que le cumul de ces déformations n'est pas de nature à mettre en cause le respect des exigences qui leur sont assignées, y compris en cas de répliques sismiques.

#### Recommandation n° 3

L'IRSN recommande que le CEA justifie que l'installation pourra être mise et maintenue dans un état sûr en cas de températures extrêmes associées à une fréquence de dépassement cible de  $10^{-4}$ /an et estimées à l'aide de données récentes. Cette justification prendra en considération, d'une part l'impact du changement climatique au travers de scénarios pénalisants de projection climatique, d'autre part un horizon temporel cohérent avec la durée prévue de fonctionnement de l'installation.

#### Recommandation n° 4

L'IRSN recommande que le CEA justifie que, à l'exception de la foudre, les cumuls d'agressions externes simultanées (hors agressions antagonistes) ne sont pas plausibles. Le cas échéant, le CEA étudiera les conséquences de ces cumuls en prenant en compte de manière simultanée l'ensemble des effets induits (et pas uniquement les effets rémanents) des deux agressions.

## ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2024-00106 DU 05 JUILLET 2024

### Engagements de l'exploitant

#### Engagement n° 1

Le CEA s'engage à ce que la définition du noyau dur du RJH intègre des dispositions de prévention du risque d'endommagement grave du combustible, en cœur ou en piscines, sous eau ou à l'air.

Cette définition intègre également des dispositions supplémentaires de limitation des rejets massifs consécutifs à un endommagement grave du combustible sous eau.

#### Engagement n° 2

Le CEA complètera, pour les ancrages au sol, sa justification de la suffisance des marges sismiques évaluées à la suite du dimensionnement au SDD pour assurer leur résistance au SND.

#### Engagement n° 3

En cas d'utilisation de coefficients de ductilité dans les dossiers de justification des SSC du noyau dur au SND, le CEA :

- montrera que les essais justifiant les valeurs de ces coefficients sont transposables aux ancrages du RJH ;
- évaluera les endommagements affectant les ancrages supportant les SSC et démontrera que ces endommagements ne sont pas de nature à remettre en cause les fonctions assurées par les SSC.

#### Engagement n° 4

Lorsque des résultats d'essais sont valorisés pour évaluer les valeurs du coefficient  $k_3$  relatif au mode de ruine « *pry-out* », le CEA s'engage à démontrer la transposabilité des essais considérés aux ancrages étudiés.

#### Engagement n° 5

Le CEA s'engage à compléter le dossier de qualification des chevilles chimiques, notamment à l'égard de l'irradiation, pour tenir compte du système d'ancrage dans son ensemble.

#### Engagement n° 6

Le CEA s'engage à justifier, sur des bases théoriques, normatives ou d'essais, l'applicabilité des coefficients de réduction lorsqu'ils sont utilisés dans l'analyse de robustesse des SSC du noyau dur.