

Fontenay-aux-Roses, le 21 juin 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2024-00091

Objet : EDF – Quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe – Examen des études relatives aux agressions internes et externes

Réf. : [1] Courrier ASN - CODEP-DCN-2019-009228 du 11 décembre 2019.
[2] Courrier ASN - CODEP-DCN-2023-006410 du 12 mai 2023.
[3] Avis IRSN – 2022-00229 du 9 décembre 2022.
[4] Avis IRSN - 2024-00012 du 31 janvier 2024.
[5] Avis IRSN - 2024-00087 du 12 juin 2024.

En 2017, Électricité de France (EDF) a soumis à l'Autorité de sûreté (ASN) les objectifs retenus pour le quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe¹ (RP4 1300) ainsi que le programme de travail et d'études associé. À l'instar du RP4 900, le RP4 1300 doit permettre de rapprocher le niveau de sûreté des réacteurs de 1300 MWe de celui des réacteurs de nouvelle génération (tel que le réacteur EPR de Flamanville). C'est également à l'occasion du RP4 1300 que doit être finalisée sur les réacteurs de 1300 MWe la mise en place du noyau dur défini à la suite de l'accident survenu sur la centrale de Fukushima-Daiichi.

En 2019, l'ASN a précisé ses attentes vis-à-vis de ces objectifs ainsi que les compléments d'études à mener par EDF [1]. En particulier, l'ASN a demandé à EDF de transmettre un ensemble d'études relatives à la prise en compte des agressions dans la démonstration de sûreté, les études devant porter sur la caractérisation des agressions considérées, les conséquences induites sur les installations et la définition le cas échéant de dispositions de protection. Dans cette perspective, les conclusions des précédentes instructions menées dans le cadre des RP3 1300 et RP4 900 ainsi que les enseignements issus du retour d'expérience, de la veille climatique, et de l'évolution des connaissances et des pratiques sont à considérer.

Par la lettre en référence [2], l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les études de sûreté relatives à la prise en compte des agressions dans la démonstration de sûreté des réacteurs de 1300 MWe à l'occasion du RP4 1300 ainsi que sur les modifications issues de ces études, proposées par EDF. En particulier, l'ASN souhaite que l'expertise de l'IRSN porte sur :

- la démarche générale pour la maîtrise des agressions ;
- les agressions externes suivantes : inondation, grands chauds, risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication, risque aérien ;

¹ La conception des trains P4 et P'4 des réacteurs de 1300 MWe est légèrement différente.

- les agressions internes suivantes : incendie, explosion, collisions et chutes de charge, inondation et défaillance de tuyauteries ;
- les études probabilistes de sûreté (EPS) relatives aux agressions incendie interne, explosion interne, inondation interne et grands chauds.

En réponse à la demande de l'ASN, l'IRSN expose ci-après les principales conclusions de son expertise. De plus, l'IRSN s'est attaché à prendre en considération certaines préoccupations et questions formulées par divers représentants de la société civile au cours du dialogue technique organisé avec l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (ANCCLI). C'est pourquoi cet avis apporte également des réponses à ces questions et préoccupations en lien avec la thématique « agressions » du RP4 1300.

1. DÉMARCHE GÉNÉRALE

En préambule, l'IRSN note que les objectifs de sûreté retenus par EDF pour l'étude des agressions externes et internes du RP4 1300 intègrent bien le retour d'expérience acquis depuis le RP3 1300, les conclusions des expertises antérieures sur les thématiques agressions, ainsi que les standards internationaux émis par l'association WENRA² les plus récents, ce qui est satisfaisant.

S'agissant de la démarche générale mise en œuvre par EDF dans le cadre du RP4 1300 pour l'étude des agressions, l'IRSN a en particulier examiné :

- les niveaux d'aléas naturels proposés par EDF vis-à-vis de la cible préconisée par le « niveau de référence » dit « T4 » publié par l'association WENRA ;
- la démarche de veille climatique mise en place par EDF ;
- la démonstration de sûreté relative à l'étude des agressions de référence³, les aspects relatifs aux dispositions de protection, ainsi que la capacité des installations à faire face aux cumuls plausibles de certaines agressions.

Niveau de référence WENRA dit « T4 »

L'association WENRA a défini en 2014 des niveaux de référence relatifs à l'intensité des agressions externes d'origine naturelle à retenir pour définir les dispositions de protection des installations nucléaires. Ainsi, WENRA préconise notamment de retenir une cible probabiliste de 10^{-4} /an/réacteur⁴.

Dans le cadre du RP4 1300, EDF a étudié le positionnement des niveaux d'aléas naturels qu'il a retenus par rapport à cette cible probabiliste, et proposé le cas échéant des majorations pour définir des niveaux correspondant à la « cible WENRA ». EDF montre ensuite que les installations sont en capacité de faire face à de tels niveaux d'aléas.

Le positionnement des niveaux d'aléas retenus par EDF par rapport à la « cible WENRA » a fait l'objet d'une expertise de la part de l'IRSN dont les conclusions sont présentées ci-après.

S'agissant des agressions « grand vent » et « grands chauds », l'IRSN considère que la démarche retenue par EDF est satisfaisante dans son principe. Toutefois, il estime que les majorations retenues pour définir les niveaux d'aléas correspondant à la cible WENRA pour les agressions « grand vent » et « grands chauds » ne sont pas suffisantes pour tenir compte des incertitudes liées à l'évaluation de ces niveaux d'aléas.

² Western European Nuclear Regulator Association.

³ Les agressions de référence correspondent aux agressions retenues dans les référentiels de sûreté en vigueur en RP4 1300.

⁴ Cible définie pour couvrir des aléas dont la fréquence de dépassement est inférieure à 10^{-4} /an/réacteur.

Par ailleurs, pour ce qui concerne la neige, EDF considère qu'il n'est pas nécessaire de définir un niveau d'aléa correspondant à la cible WENRA, compte tenu des actions de déneigement qui peuvent être mises en œuvre et de la résistance des structures à une explosion ou une chute d'avion.

Il convient de noter qu'un groupe de travail, mis en place par l'ASN, a émis en 2023 des préconisations visant à définir des niveaux de vent et de neige cohérents avec la cible probabiliste de 10^{-4} /an/réacteur. L'IRSN relève que ces préconisations diffèrent de la démarche retenue par EDF pour l'agression « grand vent ». Pour la neige, les discussions au sein du groupe de travail ont permis de convenir d'une approche générale pour définir un aléa WENRA. **Ainsi, l'IRSN estime que l'état des connaissances et des bonnes pratiques établi au sein du groupe de travail doit être considéré pour définir ou conforter les niveaux d'aléas de neige et de vent correspondant à la cible WENRA pour le RP4 1300.**

Pour ce qui concerne les températures chaudes de l'air, l'IRSN estime qu'EDF doit, dans le cadre du RP4 1300, réévaluer la majoration retenue pour caractériser la température extrême de l'air pour viser la probabilité cible de 10^{-4} /an préconisée par l'association WENRA, en couvrant les incertitudes associées aux modèles statistiques et aux projections des modèles climatiques.

Pour ce qui concerne les températures chaudes de l'eau, EDF indique qu'il est possible de mettre en place des dispositions préventives voire, si nécessaire, de replier certains réacteurs de manière préventive avant l'atteinte de températures d'eau supérieures à la température exceptionnelle définie dans le référentiel « grands chauds », ce qui n'appelle pas de commentaire de l'IRSN.

Les éléments présentés par EDF concernant les autres agressions n'appellent pas de remarque.

Enfin, et pour répondre à certaines préoccupations exprimées par la société civile non déjà abordées supra, l'IRSN souligne que les études d'EDF relatives aux températures « grands froids » ont fait l'objet dans le cadre du RP4 1300 d'inspections menées par l'ASN.

Veille climatique

Dans le cadre du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, certaines interrogations de la société civile portent sur le thème de la veille climatique. Les éléments présentés ci-après permettent d'y répondre et d'apporter un éclairage technique quant à la prise en compte de ces questions dans la sûreté des réacteurs nucléaires.

La démarche de veille climatique mise en œuvre par EDF a pour but d'identifier le besoin de faire évoluer ou non les niveaux d'aléas fixés dans les référentiels, et de s'assurer que les niveaux (ou l'évolution de ces niveaux) couvriront bien l'impact de l'évolution climatique sur les dix prochaines années, c'est-à-dire jusqu'au réexamen périodique suivant. Elle est composée d'un volet « veille scientifique » avec des exercices quinquennaux⁵ et d'un volet « événement climatique majeur (ECM)⁶ ».

Cette démarche a fait l'objet d'une expertise de l'IRSN, qui a conduit EDF à apporter des précisions sur plusieurs points. En complément, EDF transmettra prochainement à l'ASN une note présentant globalement la démarche de veille climatique et ses différents objectifs dont la « détection des éventuelles augmentations de tendance liées au changement climatique », objectif porté par le volet scientifique avec la veille quinquennale, ainsi que les actions mises en œuvre dès lors que les températures estimées issues de projections climatiques dépassent les valeurs du référentiel applicable, ce qui est satisfaisant sur le principe.

⁵ Le prochain exercice de veille quinquennale est prévu en 2024 et intégrera notamment une réévaluation des températures du référentiel « grands chauds ».

⁶ Selon EDF, la caractérisation et la surveillance des ECM doit permettre de détecter une évolution qui rendrait nécessaire une analyse anticipée de l'aléa, sans attendre le réexamen périodique suivant.

Néanmoins, l'IRSN considère qu'EDF doit compléter sa démarche pour le volet « veille scientifique » en intégrant une réévaluation systématique des niveaux de référence⁷ pour l'ensemble des aléas identifiés sensibles au changement climatique et pour lesquels l'évolution peut être projetée. EDF devra également présenter les actions à mettre en œuvre, dès lors que les niveaux d'aléas réévalués dépassent les valeurs du référentiel applicable⁸.

Par ailleurs, EDF a fait évoluer significativement l'objectif associé aux ECM qui vise désormais à « détecter un événement exceptionnel d'un point de vue sûreté de l'installation, sans attendre le prochain réexamen périodique ». L'IRSN souligne que l'objectif du volet ECM est désormais de vérifier la robustesse de l'installation pour un événement particulier et non plus de garantir les valeurs de référence des niveaux d'aléas entre deux réexamens. L'IRSN prend note de cette évolution et considère que, dans le cadre des analyses à mener en cas d'atteinte d'un ECM, EDF devra justifier au cas par cas la sûreté de l'installation dès lors qu'une observation dépasse la valeur du référentiel applicable.

De manière générale, l'IRSN estime qu'EDF doit capitaliser et analyser, dans la veille climatique quinquennale, le retour d'expérience pour l'ensemble des aléas climatiques.

Au vu de ces éléments, en complément des engagements pris par EDF au cours de l'expertise, **l'IRSN estime que la veille climatique quinquennale doit être complétée :**

- par une réévaluation systématique des niveaux de référence pour l'ensemble des aléas identifiés sensibles au changement climatique et pour lesquels l'évolution peut être projetée ;
- par la transmission et l'analyse du suivi des ECM pour les aléas sensibles au changement climatique, en tenant compte d'un suivi régional des pluies ;
- de façon générale, par la transmission et une analyse des bilans annuels menés par EDF des données hydrométéorologiques observées sur les sites et aux stations de mesure retenues pour la définition des niveaux d'aléas, qu'ils soient identifiés comme sensibles ou non au changement climatique ;
- par une présentation détaillée des actions mises en œuvre lorsque des records ou les niveaux d'aléas notamment issus de la veille quinquennale dépassent les valeurs du référentiel applicable.

Démonstration de sûreté relative à l'étude des agressions

L'IRSN souligne l'ampleur du travail et des études menées par EDF dans le cadre de la déclinaison des référentiels de sûreté associés à chaque agression. Toutefois, EDF n'a pas transmis, à l'issue de ses études, la liste définitive des dispositions qu'il estime nécessaire de mettre en œuvre pour garantir l'atteinte des objectifs de sûreté relatifs aux agressions. **Par conséquent, l'IRSN n'est pas en mesure d'évaluer le caractère suffisant des modifications qui seront déployées pour répondre à ces objectifs, et la démonstration de sûreté relative à l'étude des agressions est ainsi pour l'heure incomplète. Cette démonstration devra être apportée par EDF dans des échéances compatibles avec le RP4 1300.**

De plus, le statut de certaines études (appartenance ou non à la démonstration de sûreté) méritera d'être clarifié en amont des prochains réexamens, notamment pour les agressions incendie et explosion.

Par ailleurs, EDF a vérifié que ses installations ont la capacité de faire face aux cumuls plausibles d'agressions, ce qui est satisfaisant.

⁷ L'aléa retenu pour l'étude de l'agression de référence est appelé dans la suite du texte « niveau de référence ».

⁸ À ce jour, cela concerne la réévaluation, lors des veilles quinquennales, des températures exceptionnelles TE retenues pour l'agression canicule et définies à partir des modèles statistiques.

Aspects relatifs aux dispositions de protection

Pour les équipements nécessaires à la protection contre les agressions, EDF a reconduit, en RP4 1300, le niveau de classement « IPS-NC » retenu en RP4 900. Ce niveau de classement est satisfaisant dans le principe, mais laisse une grande latitude quant à la définition des exigences associées. Des exigences adéquates, notamment de suivi en exploitation, devront donc être définies par EDF au regard de l'importance pour la sûreté de ces équipements.

Par ailleurs, la prise en compte d'un aggravant⁹, conformément aux préconisations de WENRA, est bien intégrée dans les études d'agressions de référence. **Toutefois, EDF n'applique pas cette règle pour les équipements actifs qu'il considère de « haute fiabilité », tout en vérifiant pour certaines agressions internes¹⁰, dans le cadre d'études complémentaires, que la défaillance de ces équipements n'induit pas d'effet falaise. À l'issue de l'expertise, EDF s'est engagé à étendre cette vérification aux études d'inondation externe¹¹, ce qui est satisfaisant.**

2. AGRESSIONS EXTERNES

L'examen par l'IRSN des études d'agressions externes menées par EDF au titre du RP4 1300 porte sur :

- le risque d'inondation externe ;
- les risques associés aux grands chauds ;
- le risque aérien ;
- les risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication.

Inondation externe

EDF a appliqué les préconisations du guide ASN n° 13 publié en 2013, relatif à la protection des installations nucléaires contre les inondations externes. Ce guide définit notamment les situations de référence pour le risque d'inondation (SRI) à retenir pour le dimensionnement des protections.

Les démarches mises en œuvre par EDF pour chaque SRI sont déclinées pour l'ensemble des sites dans le cadre des dossiers de site de stade 5 selon un calendrier découplé des réexamens périodiques. La présente expertise a tout d'abord permis de réaliser un bilan des conclusions de l'IRSN relatives aux déclinaisons des SRI, notamment pour les réacteurs du palier 1300 MWe. En particulier, dans le cadre de précédentes expertises relatives aux SRI pluies locales (PLU) et remontée de la nappe phréatique (RNP) et ainsi qu'aux débits de référence associés aux crues sur un grand bassin versant (CGB), réalisées pour l'ensemble des sites, EDF s'est engagé à apporter les compléments attendus pour les réacteurs des paliers 1300 MWe lors du RP4 1300, ou lors du RP5 1300 lorsque de nouveaux développements méthodologiques sont envisagés ou que par exemple le niveau associé à la SRI est réévalué à la baisse.

Pour ce qui concerne la SRI intumescence¹², les éléments transmis par EDF dans le cadre de la présente expertise n'ont pas appelé de commentaire de la part de l'IRSN. Pour ce qui concerne la SRI clapot, EDF s'est engagé à réévaluer la vitesse de vent centennale générant le clapot pour l'ensemble des sites en bord de rivière en prenant en compte les données de vents observées depuis 2010, ce qui est satisfaisant. Enfin, concernant la méthodologie de prise en compte des brèches dans les digues relative aux SRI CGB et rupture d'un ouvrage de retenue (ROR), les éléments apportés par EDF correspondent dans leur globalité aux préconisations du guide ASN n° 13. Dans le

⁹ Aggravant unique (Journal officiel du 23/09/2015) : « événement introduit par convention dans l'étude d'un scénario d'accident et choisi parmi les évènements possibles comme étant celui qui aurait les conséquences les plus graves ».

¹⁰ Il s'agit des agressions internes d'inondation, d'incendie et d'explosion.

¹¹ EDF retient pour l'agression d'inondation externe le critère de « haute fiabilité » pour les batardeaux relevables et les clapets anti-retour.

¹² L'intumescence est une onde résultant d'une variation rapide du débit dans un ouvrage hydraulique à ciel ouvert, implanté sur le site ou en amont ou en aval de celui-ci.

cadre des analyses de sensibilité prévues, **il appartiendra à EDF de retenir également un scénario pénalisant, consistant à exclure les brèches dans les digues dont la rupture conduirait à diminuer la hauteur d'eau au droit du site d'étude.**

Pour les sites en bord de mer, concernant la SRI niveau marin (NMA), EDF s'est notamment engagé à conforter les surcotes¹³ de référence retenues pour les sites de Flamanville, de Paluel et de Penly, en complétant les données utilisées dans les analyses régionales mises en œuvre et en menant des analyses de sensibilité sur les limites des régions, ce qui est satisfaisant. EDF a précisé que ces études seront menées dans le cadre du RP4 1300 pour les sites de Penly et de Flamanville, mais dans le cadre du RP5 1300 pour le site de Paluel. Il appartiendra à EDF de mettre en œuvre les actions nécessaires pour le site de Paluel dans le cas où la réévaluation de la SRI NMA à Penly conduirait à réhausser la surcote de référence calculée à Dieppe (port de référence pour les deux sites). Enfin, vis-à-vis de l'évolution du niveau marin moyen, **il appartiendra également à EDF de vérifier que la marge de 20 cm retenue couvrira l'évolution du niveau marin moyen sur la base des projections climatiques les plus récentes et tenant compte d'éventuels mouvements locaux du sol.**

Pour définir la houle de référence associée à la SRI vagues (VAG), EDF utilise des données issues d'anciennes campagnes de mesures. Ainsi, EDF s'est engagé, pour l'ensemble des sites en bord de mer du palier 1300, à réévaluer la SRI VAG en tenant compte de données complémentaires issues de données mesurées et modélisées ; ces études sont prévues dans le cadre du RP4 1300 à l'exception du site de Paluel qui sera traité en RP5 1300. **Ces éléments sont globalement satisfaisants. Il appartiendra toutefois à EDF de présenter, pour le site de Paluel en amont de la réévaluation de la SRI VAG prévue en RP5 1300, des premiers éléments permettant de conforter la houle de référence pour ce site.**

Pour ce qui concerne l'examen des dispositions de protection, l'expertise a porté sur les sites de Cattenom et de Paluel (situés respectivement en bord de rivière et en bord de mer). **L'IRSN estime que les dispositions de protection prévues pour ces sites permettent d'atteindre un niveau de protection satisfaisant.**

Grands chauds

À la suite des vagues de chaleur de 2002, 2003 et 2006, EDF a établi un référentiel « grands chauds » qui précise la démarche et les hypothèses à retenir pour s'assurer du caractère suffisant des dispositions de protection des installations existantes vis-à-vis des périodes de températures élevées de l'air et de l'eau de la source froide, en tenant compte de l'impact à venir du changement climatique. Dans ce cadre, EDF réalise des études thermiques de « redimensionnement » et d'agression canicule¹⁴ dont l'objectif est de s'assurer que les températures atteintes dans les locaux ne dépassent pas la température maximale admissible des matériels importants pour la sûreté (EIPS) qui s'y trouvent. Si tel n'est pas le cas, EDF examine la possibilité de dédouaner¹⁵ les matériels concernés et, si un dédouanement n'est pas possible, il propose alors la mise en œuvre d'une modification. En outre, à la suite du RP4 900, EDF s'est engagé, pour les locaux à fort enjeu de sûreté, à respecter une marge d'au moins 2 °C entre les températures maximales calculées dans ces locaux et les températures maximales admissibles des matériels qu'ils abritent¹⁶. Si cette marge n'est pas obtenue, EDF doit mettre en œuvre une modification pour la retrouver.

¹³ Une surcote est la différence entre le niveau de la mer observé et le niveau de la mer prédit (marée théorique).

¹⁴ Les températures de l'air extérieur et de la source froide retenues, les scénarios accidentels, ainsi que les règles d'études à retenir pour la réalisation des études thermiques, diffèrent entre les situations de « redimensionnement » et d'agression canicule.

¹⁵ Lorsque la température calculée dans le local dépasse la température maximale admissible d'un matériel important pour la sûreté qu'il abrite, EDF réalise une analyse de dédouanement. Dans ce cadre, EDF cherche soit à démontrer que la température maximale admissible du matériel peut être dépassée sans préjudice sur sa disponibilité, soit à justifier que, au moment de la survenue du dépassement, le matériel n'est plus requis dans la situation du référentiel « grands chauds » qui le valorise.

¹⁶ Pour tenir compte des incertitudes associées à la modélisation ainsi que des risques d'hétérogénéités de température dans certains locaux.

L'IRSN considère que les compléments apportés par EDF au cours de l'expertise permettent de dédouaner un grand nombre de matériels présentant des dépassements de leur température maximale admissible. Pour les matériels qui n'ont pas pu être dédouanés ou pour ceux qui sont situés dans des locaux à fort enjeu de sûreté pour lesquels la marge est inférieure à 2 °C, EDF prévoit de mettre en œuvre des modifications, ce qui est satisfaisant. Il lui appartiendra cependant de démontrer le caractère suffisant de ces modifications dans des échéances compatibles avec le RP4-1300.

Par ailleurs, EDF s'est engagé à mettre à jour son étude thermique des locaux des pompes PTR du train P4 afin de tenir compte de la puissance résiduelle de la piscine combustible à l'état RP4, et à compléter la justification de la suffisance de la marge de 2 °C pour le hall des bâtiments diesels sur le site de Penly, en exploitant notamment des résultats d'essais sur site, ce qui est satisfaisant dans le principe.

Pour ce qui concerne les situations du domaine complémentaire¹⁷, EDF a défini une température de l'air extérieur (plus faible que celles considérées dans le référentiel grands chauds) à retenir dans les études thermiques, mais n'a toutefois pas réalisé ces études. Néanmoins, dans le cadre du RP5 900, EDF s'est engagé à définir, pour 2026, un référentiel de sûreté présentant un jeu complet d'hypothèses (incluant les niveaux d'aléas), pour apprécier la robustesse des installations en cas de survenue d'une situation du domaine complémentaire en période estivale.

Pour l'IRSN, cet engagement est applicable au palier 1300 MWe.

Dans l'attente de ce référentiel, l'IRSN a estimé nécessaire qu'EDF évalue dans le cadre du RP4 1300 la capacité des installations à faire face, en période de « grands chauds », à des situations de perte totale de la source froide (H1) et de perte totale des alimentations électriques (H3). **EDF s'est ainsi engagé à transmettre des éléments permettant de justifier le caractère enveloppe, vis-à-vis des matériels nécessaires en situations H1 et H3, des résultats des études thermiques déjà réalisées pour les scénarios de redimensionnement, ce qui est satisfaisant dans le principe. Toutefois, il appartiendra à EDF de s'assurer que la conduite des situations H1 et H3 n'est pas de nature à modifier la cinétique d'évolution des températures dans les locaux par rapport à celle évaluée dans les études thermiques de redimensionnement et de vérifier que l'ensemble des matériels nécessaires à leur gestion est bien valorisé dans les études de redimensionnement du référentiel « grands chauds ».**

Risques aériens

Les risques liés à la chute d'avion ont été examinés, à la demande de l'ASN, de manière anticipée [3]. Aucune expertise complémentaire n'est prévue sur ce sujet dans le cadre de la phase générique du RP4 1300. Pour l'essentiel, l'expertise anticipée de l'IRSN a porté sur la pertinence de l'actualisation des paramètres de trafic aérien et d'accidentologie retenus par EDF ainsi que sur le calcul des surfaces virtuelles des cibles à considérer pour évaluer les risques correspondants. Les évaluations de risques aériens seront réalisées par EDF pour chaque réacteur à l'occasion du rapport de conclusion du réexamen périodique (RCR).

Risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication

La majorité des notes méthodologiques d'EDF relatives aux évaluations des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication ont été analysées, à la demande de l'ASN, de manière anticipée [3]. Cette expertise a conduit EDF à transmettre à l'ASN plusieurs études complémentaires qui ont ainsi fait l'objet d'un examen dont les conclusions figurent ci-après.

L'IRSN estime tout d'abord que, compte tenu des dispositions de protection individuelles et collectives existant sur les sites, l'utilisation du seuil d'effets irréversibles (SEI) pour apprécier les effets toxiques résultant d'un accident lié à l'environnement industriel et aux voies de communication sur les personnels présents sur site est

¹⁷ Les situations du domaine complémentaire ont été introduites à la suite de la réalisation des premières études probabiliste de sûreté. Elles sont les conséquences d'événements initiateurs moins probables, généralement plus complexes que ceux pris en compte dans le dimensionnement conventionnel de l'installation. Leur étude a pour but de définir des dispositions, dites complémentaires, permettant de ramener à un niveau acceptable le risque de fusion du cœur.

satisfaisante. Toutefois, il appartient à EDF de compléter les dossiers de sûreté avec ces dispositions et de s'assurer que les sites disposent de moyens leur permettant d'être avertis de l'arrivée d'un nuage toxique avant l'atteinte de concentrations susceptibles d'affecter la bonne réalisation des actions de conduite permettant la mise et le maintien de l'installation dans un état sûr.

EDF a par ailleurs réalisé une étude de sensibilité pour intégrer les potentiels de danger associés aux voies de communication dans un rayon de 10 km pour les sites du palier 1300 MWe. **L'IRSN estime satisfaisants les éléments transmis par EDF, le conduisant à retenir finalement uniquement les potentiels de danger liés aux voies de communication présentes dans un rayon de 5 km autour des sites du palier 1300 MWe étudiés.**

Par ailleurs, EDF a transmis une étude des risques liés à un nuage dérivant de matière dangereuse formé à la suite d'un accident sur une voie de communication. Eu égard aux multiples caractéristiques des scénarios d'accidents possibles (typologie d'hydrocarbures, configuration des sites, distance du point d'inflammation par rapport au site...), l'IRSN estime que l'utilisation de faibles valeurs de probabilité d'inflammation retardée génériques n'est pas suffisamment justifiée par EDF. **L'IRSN considère qu'EDF pourrait apporter des justifications complémentaires dans le cadre des études propres à chaque site à l'occasion des RCR, avec une prise en compte plus fine des données spécifiques (sources d'ignition potentielles présentes, scénarios étudiés...) et une meilleure justification de leur cohérence.**

3. AGRESSIONS INTERNES

L'examen par l'IRSN des études d'agressions internes menées par EDF au titre du RP4 1300 porte sur les risques liés :

- à l'incendie d'origine interne ;
- à l'explosion d'origine interne ;
- aux collisions et chutes de charges ;
- à l'inondation interne et aux défaillances de tuyauteries.

Incendie interne

Pour le RP4 1300, la démonstration de la maîtrise des risques liés à l'incendie d'origine interne comprend de nombreuses études visant notamment à répondre aux demandes formulées par l'ASN dans son courrier en référence [1].

Les études réalisées par EDF reposent en grande partie sur des modélisations des différents foyers d'incendie étudiés. L'IRSN considère que le caractère enveloppe des hypothèses retenues par EDF pour modéliser les foyers « feu de câbles électriques » et « feu d'armoire électrique » n'est pas démontré. De plus, pour la modélisation de foyers d'armoires électriques, EDF ne considère qu'une seule armoire avec sa porte fermée, sans prendre en compte une éventuelle propagation de l'incendie entre armoires, alors que certains locaux étudiés contiennent de nombreuses armoires. **L'IRSN estime que cette approche n'est pas satisfaisante car elle ne correspond, ni à un scénario enveloppe, ni à l'état de l'art.**

Pour ce qui concerne la prise en compte des effets de pression induits par un incendie, l'évolution de la méthode proposée par EDF est satisfaisante dans le principe. L'IRSN estime en revanche que les règles utilisées pour établir la liste des locaux qui devront faire l'objet d'études approfondies vis-à-vis des effets de pression résultant d'un incendie ne permettent pas d'identifier l'ensemble des locaux susceptibles de donner lieu à une rupture de la sectorisation causée par les effets de pression liés à un incendie. Ceci est essentiellement lié à la valeur retenue par EDF pour le coefficient de croissance de feu à considérer pour les foyers d'armoires électriques.

S'agissant de la prise en compte des effets liés aux fumées d'incendie, EDF a complété la démarche d'analyse pour prendre en compte la demande de l'ASN de fixer les critères de dysfonctionnement des équipements

électriques et électromécaniques sous l'effet des fumées. Pour l'IRSN, l'évaluation des effets des fumées d'incendie pour les équipements électriques et électromécaniques, basée sur des critères de dysfonctionnement plus précis que ceux utilisés lors du réexamen RP4 900, est satisfaisante et répond à la demande de l'ASN. L'IRSN estime cependant que la note de méthodologie des études des effets liés aux fumées d'incendie devrait être mise à jour afin d'intégrer les critères de dysfonctionnement désormais retenus pour les équipements électriques et électromécaniques.

Pour ce qui concerne la justification de la sectorisation incendie, EDF a fait notablement évoluer la méthode utilisée pour le RP4 900, afin notamment de tenir compte des enseignements qui en ont été tirés. La mise à jour de la méthode fait ainsi apparaître un ensemble d'améliorations que l'IRSN estime satisfaisantes. Ces améliorations portent notamment sur la vérification de la tenue des éléments de sectorisation incendie ayant des exigences de résistance au feu supérieure ou égale à 90 minutes, la définition d'une marge forfaitaire à considérer pour les courbes de performance utilisées dans la méthode de justification du dimensionnement des éléments de sectorisation incendie, et la vérification de la tenue des éléments de sectorisation incendie pour certains volumes de feu de sûreté disposant d'une aspersion fixe.

Enfin, pour ce qui concerne la prise en compte d'un aggravant dans les études d'incendie, les études présentées par EDF, qui concluent à la nécessité de dispositions complémentaires de protection contre l'incendie, sont globalement satisfaisantes.

En conclusion, bien que plusieurs améliorations aient été apportées à la démarche d'étude des effets des incendies d'origine interne par rapport à celle mise en œuvre dans le cadre du RP4 900 (étude des effets de pression, effets des fumées sur les matériels électriques...), ainsi qu'à la démarche de justification de la sectorisation incendie, l'IRSN note que la justification du caractère conservatif de certaines hypothèses retenues, notamment dans les modélisations de foyer d'incendie et de propagation d'un incendie entre armoires électriques, reste à compléter pour conclure quant à la maîtrise du risque d'incendie.

Explosion interne

EDF a réexaminé les risques liés à l'explosion d'origine interne pour les réacteurs du palier 1300 MWe en s'appuyant sur le référentiel utilisé pour le RP4 900 et en tenant compte des demandes, ayant un caractère générique, formulées par l'ASN lors du RP4 900 ainsi que lors de l'instruction des orientations du RP4 1300 [2].

EDF prévoit en RP4 1300 plusieurs modifications visant à améliorer la maîtrise des risques de fuites sur les tuyauteries hydrogénées et la maîtrise du risque d'accumulation d'hydrogène dans les locaux batteries du bâtiment électrique, ce qui est satisfaisant. Cependant, de nombreux compléments d'études sont encore annoncés par EDF, et concernent notamment :

- les dispositions de suppression du risque de fuite qui seront mises en œuvre au niveau de certaines singularités sur des tuyauteries hydrogénées qui n'ont pas fait l'objet d'études de fuites aux singularités, dont les tuyauteries provenant du parc à gaz ;
- les compléments d'études ainsi que les dispositions prévues pour les locaux pouvant être le siège d'une explosion qui, selon EDF, entraînerait des conséquences importantes pour la sûreté ;
- les modalités de suivi en exploitation, notamment la conduite à tenir en cas de mise en défaut de dispositions participant à la maîtrise des risques d'explosion et dont la défaillance pourrait conduire à des conséquences importantes sur la sûreté selon EDF.

Ainsi, à ce jour, l'IRSN ne dispose pas de l'ensemble des éléments lui permettant de statuer sur le caractère suffisant de la maîtrise du risque d'explosion d'origine interne pour les réacteurs de 1300 MWe.

Collisions et chutes de charge

EDF a évalué les risques induits par les collisions et chutes de charge pour l'ensemble des engins de manutention. L'IRSN considère que la démarche retenue par EDF est acceptable.

EDF a également évalué la fiabilité des opérations de levage du pont polaire¹⁸ (DMR) du bâtiment réacteur (BR) et du pont lourd (DMK) du BK du train P4¹⁹. EDF estime que, lors des mouvements de translation des ponts, les risques de collision et de chute de charge associées sont résiduels grâce aux mesures de prévention mises en œuvre en exploitation. **Toutefois, EDF n'a pas évalué la fiabilité de ces mesures, ce qui constitue pour l'IRSN une limite de l'étude.**

EDF a indiqué que le temps limité de la phase de survol du couvercle (manutentionné par le treuil principal du pont polaire) au-dessus de la cuve permettait de justifier le risque réduit de chute du couvercle sur les assemblages de combustible. Par ailleurs, EDF a étudié les conséquences de chutes de charge lourde sur le génie civil du BR et justifié que les chutes étudiées n'auraient pas de conséquence sur la sûreté de l'installation. **Ceci est satisfaisant.**

Inondation interne et défaillance de tuyauteries

L'IRSN souligne l'ampleur des études menées par EDF dans le cadre du RP4 1300 pour évaluer les risques d'inondation interne et de rupture de tuyauterie haute énergie²⁰ (RTHE).

Pour l'étude de ces agressions, EDF postule la défaillance d'au moins une tuyauterie dans chaque local ou groupe de locaux en communication directe, appartenant à des bâtiments contenant des matériels EIPS ou du fluide contaminé. Ces défaillances entraînent des inondations et, pour le cas spécifique des tuyauteries haute énergie, des effets de fouettement de tuyauterie et de jet sur les équipements situés dans le local. La réalisation des études se déroule de manière itérative en trois niveaux d'analyse successifs déclinés en tant que de besoin par EDF. Dans son premier niveau d'analyse, EDF considère que, dans le local où est postulée la défaillance de la tuyauterie, l'ensemble des matériels non protégés contre les effets de l'agression sont perdus. Si cette agression entraîne des conséquences trop importantes pour la sûreté, EDF réalise des analyses plus fines, de deuxième puis de troisième niveau²¹.

À l'occasion du RP4 1300, EDF a fait notablement évoluer ses hypothèses d'études des effets de fouettement des THE et d'inondation, afin notamment de tenir compte des enseignements du RP4 900. EDF a précisé que le caractère pénalisant des hypothèses retenues en RP4 1300 le conduisait à conclure, pour un nombre important d'analyses de troisième niveau, au non-respect des objectifs de sûreté assignés aux agressions inondation interne et RTHE, et donc à la nécessité de modifications. Or certaines d'entre elles ne seraient pas faisables selon EDF sur les installations (manque de place). Ainsi, EDF prévoit dans son plan d'action, lorsque les modifications sont réalisables, de les mettre en œuvre et, dans le cas contraire, de reprendre les études des agressions en adaptant les hypothèses. Des points d'échanges réguliers sur l'avancement de ce plan d'action seront programmés avec l'ASN et l'IRSN. **Dans l'attente des conclusions du plan d'action d'EDF et de la stabilisation du référentiel d'étude, l'IRSN souligne l'importance de la surveillance en exploitation pour prévenir le risque de défaillance de tuyauterie.**

Pour les bâtiments de l'îlot nucléaire, la démarche d'étude des agressions « inondation interne » et RTHE est déclinée par EDF en retenant les données d'entrée (configuration d'installation, implantation des matériels...) des réacteurs n° 1 des sites de Paluel et de Cattenom, qu'il considère représentatives de l'ensemble des réacteurs respectivement des trains P4 et P'4. L'IRSN a questionné EDF sur le caractère transposable de ces données d'entrée aux autres réacteurs, ayant constaté, lors de visites sur site, des écarts entre les hypothèses considérées

¹⁸ Le pont polaire est un pont de manutention, situé sous le dôme du bâtiment réacteur, qui permet la manutention de charges lourdes lors des phases d'arrêt du réacteur.

¹⁹ Le pont DMK permet la manutention des emballages des assemblages de combustible sur le train P4 uniquement.

²⁰ Les tuyauteries haute énergie véhiculent un fluide sous une pression de service supérieure à 20 bars relatifs ou à une température de service supérieure à 100 °C.

²¹ Dans les analyses de deuxième niveau, EDF postule que les tuyauteries agressées sont celles dont le diamètre ou l'épaisseur est inférieur respectivement au diamètre ou à l'épaisseur de la THE agresseur. Dans les analyses de troisième niveau, EDF prend en considération la configuration du local et la localisation de la rupture.

dans les études « paliers » et la configuration réelle des sites. Sur ce point, EDF s'est engagé à vérifier l'applicabilité des analyses détaillées réalisées pour les réacteurs n° 1 des sites de Paluel et de Cattenom respectivement aux réacteurs n° 2 des sites de Flamanville et de Golfech, sur le périmètre des matériels électriques. L'IRSN estime que, si cet engagement est satisfaisant dans le principe, il mérite d'être élargi à un plus grand nombre de réacteurs et à l'ensemble des hypothèses et matériels ayant un impact prépondérant sur les conclusions des analyses détaillées. **L'IRSN formule à cet égard la recommandation présentée en annexe.**

Concernant les exigences à associées aux équipements valorisés dans les études d'inondation interne et de RTHE, EDF a engagé des réflexions afin d'identifier, en RP4 1300, les équipements les plus importants et de ne classer que certains d'entre eux. **L'IRSN prend note de ces réflexions mais considère, en tout état de cause, que les matériels nécessaires à l'atteinte des objectifs de la démonstration de sûreté des agressions inondation interne et RTHE doivent être classés et les exigences de suivi en exploitation adaptées à leur importance pour la sûreté.**

Enfin, pour ce qui concerne le risque de propagation d'une inondation au sein du bâtiment électrique en cas de rupture de tuyauterie d'eau alimentaire des générateurs de vapeur en toiture de ce bâtiment, EDF s'est engagé à réaliser une nouvelle étude, l'étude initiale transmise en RP4 1300 n'étant pas suffisamment conservatrice et ne tenant pas compte de la configuration réelle de l'installation.

4. EPS AGRESSIONS

L'IRSN souligne l'ampleur du champ couvert par les études probabilistes de sûreté (EPS) agressions développées par EDF, avec notamment la réalisation de premières études pour les situations de canicule. Ces EPS sont basées sur les informations disponibles au moment de leur développement concernant les modifications matérielles et procédurales mises en œuvre dans le cadre du RP4 1300. **Une consolidation de certaines de ces études est ainsi prévue par EDF pour mieux prendre en compte l'état technique RP4 1300, ce qui est satisfaisant.**

Les résultats numériques des EPS agressions doivent être utilisés avec prudence. Les études présentent en effet un périmètre, un degré de maturité ou des niveaux de conservatismes différents, qui limitent par exemple l'intérêt d'une comparaison entre les résultats des différentes études. Le risque de fusion du cœur obtenu par EDF pour les EPS incendie interne, inondation interne, explosion interne ou canicule varie entre quelques 10^{-7} et 10^{-6} /année/réacteur pour les trains P4 et P'4. Le risque de rejets a été évalué par EDF uniquement pour les agressions incendie et inondation.

En complément des nouvelles dispositions du noyau dur qui contribuent à la réduction des risques de fusion du cœur et de rejets, comme l'ont montré les EPS de niveau 1 et 2 pour les initiateurs d'accident d'origine interne ([4] et [5]), ces EPS agressions mettent en évidence, selon EDF, le bénéfice de plusieurs dispositions qui seront déployées à l'occasion du RP4 1300, telles que :

- l'installation de contacteurs à accrochage sur les tableaux électriques alimentant certains équipements des systèmes de ventilation des locaux électriques ;
- l'installation d'une vanne réglante sur le système de traitement des effluents gazeux afin de réduire le débit d'une éventuelle fuite d'hydrogène ;
- la coupure manuelle de la charge des batteries de secours dans certains cas de perte de ventilation de leur local, pour prévenir la formation d'une atmosphère explosive due au relâchement d'hydrogène depuis les batteries ;

- l'installation d'un dispositif d'alimentation électrique des vannes de l'EAS-ND²² depuis la voie B, pour permettre leur manœuvre en cas de perte de la voie A.

Par ailleurs, l'EPS canicule confirme l'importance des efforts de fiabilisation du système d'eau glacée chargé de refroidir les systèmes de ventilation des locaux électroniques et de ventilation des locaux électriques.

L'IRSN partage ces enseignements tirés des EPS incendie interne, inondation interne, explosion interne et canicule.

Bien que des améliorations d'ordre méthodologique et documentaires soient souhaitables, l'IRSN souligne les progrès réalisés par EDF pour la réalisation de ces EPS à l'occasion du RP4 1300. Des compléments au domaine couvert sont également attendus pour améliorer leur représentativité et confirmer que les risques afférents sont maîtrisés.

5. CONCLUSION

L'IRSN souligne l'ampleur des études d'agressions déterministes menées par EDF dans le cadre du réexamen RP4 1300, ainsi que l'étendue du champ couvert par les EPS agressions développées par EDF, avec notamment la réalisation de premières études pour les situations de canicule.

L'IRSN considère que, pour les agressions « risques aériens », « risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication », « collisions et chutes de charge » et « inondation externe », les études présentées par EDF sont satisfaisantes compte tenu des éléments qu'il s'est engagé à apporter.

En revanche, pour les autres agressions, des compléments substantiels restent attendus pour démontrer l'atteinte des objectifs de sûreté relatifs à ces agressions. Ils devront permettre d'identifier l'ensemble des dispositions de protection nécessaires et de justifier leur caractère suffisant. EDF a pris des engagements en ce sens, ce qui est satisfaisant.

Enfin, pour l'agression inondation interne, l'IRSN estime que, au-delà de ces compléments, des vérifications sur site sont également nécessaires pour garantir la conformité des études à l'état réel des installations.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

²²EAS-ND : système appartenant au noyau dur mis en œuvre dans le cadre post-Fukushima, permettant une injection d'eau borée dans le circuit primaire ou dans l'enceinte de confinement, ainsi que le refroidissement de cette eau pour évacuer la puissance résiduelle hors de l'enceinte de confinement.

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2024-00091 DU 21 JUIN 2024

Recommandation de l'IRSN

L'IRSN recommande que la vérification de l'applicabilité des analyses détaillées des agressions « inondation interne » et RTHE menées pour les réacteurs « tête de série » des trains P4 et P'4, prévue par EDF sur les matériels électriques, soit :

- réalisée sur au moins un réacteur de chaque site de 1300 MWe, en amont de sa quatrième visite décennale ;
- élargie à l'ensemble des matériels et hypothèses qui permettent, dans ces analyses, de conclure au respect des objectifs de sûreté assignés à ces agressions (localisation et implantation des matériels actifs et passifs, exigences de tenue à l'agression...).