



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 29 juin 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2023-00100

Objet : Expertise anticipée en vue d'une demande d'autorisation de création d'une paire de réacteurs de type EPR2 : référentiel relatif à la prise en compte de l'explosion d'origine interne.

Réf. : [1] Avis ASN n°2019-AV-0329 du 16 juillet 2019.
[2] Lettre ASN – CODEP-DCN-2022-017564 du 5 avril 2022.
[3] Décision de l'ASN n° 2015-DC-0532 du 17 novembre 2015.
[4] Avis IRSN n°2022-00125 du 15 juin 2022.

À la suite de l'instruction du dossier d'options de sûreté (DOS) du réacteur EPR Nouveau Modèle (EPR NM), et son évolution de configuration de réacteur appelée EPR2, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a considéré que la démarche de conception de l'installation au regard des agressions d'origine interne nécessitait des compléments, notamment concernant la maîtrise des risques d'explosion interne [1]. EDF s'est en particulier engagé à détailler pour l'agression explosion interne, en amont du dépôt de la demande d'autorisation de création d'une paire de réacteurs EPR2, les éléments structurants de la doctrine de sûreté, les options de conception majeures ainsi que les principes méthodologiques des thématiques nouvelles ou avec une forte composante technique, en tenant compte de l'analyse des différentes demandes formulées par l'ASN au regard du risque d'explosion interne pour les installations d'EDF. En amont du dépôt officiel d'une demande d'autorisation de création d'une paire de réacteurs de type EPR2, EDF a transmis en février 2021 le volet générique « palier » du rapport préliminaire de sûreté (RPrS) pour instruction anticipée.

Par la lettre citée en référence [2], l'ASN sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le référentiel relatif à l'explosion d'origine interne décrit dans le RPrS de l'EPR2 (hypothèses, règles d'étude, cumuls plausibles) ainsi que sur les exceptions à la démarche de protection de l'installation contre cette agression. Enfin, l'ASN souhaite que l'IRSN se prononce sur la complétude des informations relatives à la maîtrise des risques d'explosion interne contenues dans le RPrS au regard des préconisations de la décision en référence [3].

Les conclusions de l'expertise réalisée par l'IRSN, spécifiques au risque d'explosion interne, sont présentées ci-après.

MEMBRE DE
ETSON

1. RISQUES D'EXPLOSION DANS L'ILOT NUCLEAIRE

Les risques d'explosion d'origine interne dans l'îlot nucléaire de l'EPR2 sont essentiellement liés à la présence de systèmes véhiculant des gaz inflammables et de procédés produisant des gaz inflammables (hydrogène issu de la charge des batteries en particulier). La méthode retenue par EDF pour estimer les risques d'explosion liés aux gaz inflammables dans les locaux comporte deux étapes. La première étape consiste à identifier ces procédés et les systèmes « à risque » d'explosion dont la concentration en gaz inflammables est supérieure à la limite inférieure d'explosivité¹ (LIE) en fonctionnement normal. Les locaux les abritant sont alors identifiés comme locaux dits « à risque ». Parmi ces locaux, EDF identifie les locaux dits « à risque avéré » dans lesquels une concentration maximale en gaz inflammables supérieure à la LIE pourrait être atteinte en cas de dysfonctionnements (fuite sur un système « à risque » ou perte de la ventilation pour les locaux abritant des procédés produisant des gaz inflammables par exemple). La seconde étape consiste à analyser les conséquences potentielles de l'explosion dans les locaux « à risque avéré ».

La presse à compacter dans le bâtiment de traitement des effluents peut également présenter un risque d'explosion notamment en cas de présence de produits inflammables volatils (solvants, aérosols, etc.) dans les déchets à compacter. Ce dernier risque fait l'objet d'une analyse spécifique d'EDF.

1.1. RISQUES D'EXPLOSION LIES AUX SYSTEMES HYDROGENES

Risques d'explosion en cas de fuite dans un local

Pour les systèmes véhiculant de l'hydrogène identifiés « à risque » (hors du bâtiment du réacteur²), EDF étudie, au titre de la démonstration de sûreté, les risques d'explosion consécutifs à des fuites au niveau des singularités (parties démontables, connexions non soudées, joints à brides, etc.). En revanche, pour les fuites sur les portions courantes de tuyauteries (fuites hors singularités incluant les assemblages soudés), il étudie les risques d'explosion associés en retenant des hypothèses « réalistes adaptées » (notamment « sans prise en compte du critère de défaillance aléatoire et en valorisant les matériels disponibles, qu'ils soient classés de sûreté ou non ») ; la méthodologie correspondante est en cours d'élaboration. Selon EDF, cette étude est réalisée au titre de « la robustesse » et vient conforter la démonstration de sûreté. EDF justifie cette dernière approche par le caractère improbable d'apparition de ces fuites sur les tuyauteries hydrogénées compte tenu des dispositions prises à la conception et en exploitation (classement de sûreté S3³, qualité de fabrication Q3⁴, matériau en acier inoxydable au regard du phénomène de corrosion, suivi en service adapté à l'enjeu). L'IRSN rappelle que, conformément au guide ASN n°22, « dans la démonstration de sûreté nucléaire, les événements déclencheurs sont « exclus » ou « traités » ». S'il ne peut pas être démontré que les fuites sur les parties courantes des tuyauteries sont exclues, leurs conséquences doivent être étudiées au titre de la démonstration de sûreté. L'IRSN estime que les dispositions prises par EDF permettent de limiter le risque de fuite d'hydrogène en dehors des singularités mais pas d'exclure la survenue d'une fuite et qu'il convient donc de la traiter dans la démonstration de sûreté. Cependant, l'IRSN admet que les éléments avancés par EDF contribuent à considérer les événements issus de fuites hors singularités comme des événements de nature différente de ceux issus de fuites au niveau des singularités. Or le guide cité ci-avant prévoit d'étudier certains événements présentant une complexité ou une sévérité particulière sur la base d'une démarche adaptée en considérant qu'ils relèvent du domaine de conception étendu (cf. article 2.2.4.1 notamment). Ce guide n'apporte toutefois aucun éclairage sur cet aspect

¹ La LIE d'une substance désigne la concentration minimale au-dessus de laquelle cette substance peut être enflammée. La LIE de l'hydrogène est de 4% en volume dans l'air.

² La conception actuelle de l'EPR2 prévoit que les systèmes abrités dans le bâtiment du réacteur aient une concentration en hydrogène inférieure à la LIE en fonctionnement normal.

³ D'après le RPrS, les éléments importants pour la protection des intérêts pour la sûreté nucléaire (EIPS) contribuant à la réalisation d'une fonction de sûreté (catégories 1, 2 et 3) se voient attribuer une classe de sûreté unique (S1, S2 et S3) qui est associée à la catégorie la plus élevée des fonctions qu'ils réalisent. Cette classe de sûreté reflète leur rôle pour la sûreté.

⁴ Concernant les exigences relatives aux équipements mécaniques, un classement Q de qualité de réalisation (conception et fabrication), selon quatre niveaux de qualité décroissante Q1, Q2, Q3 et Qc, est déterminé à partir de la classe de sûreté S de l'équipement.

au regard des agressions internes. De même, le niveau de référence SV 5.9 de l'association des chefs d'autorité de sûreté de l'Europe de l'Ouest (WENRA) n'est guère plus précis en termes de modalités d'application. En revanche, il requiert de mener des analyses en mettant en œuvre, pour les agressions internes, une approche similaire à celle mise en œuvre au titre du domaine de conception étendu dans le cadre de l'étude des accidents. Les éléments transmis par EDF ne sont pas de nature à répondre à cette prescription. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 1 présentée en annexe.**

Pour les locaux identifiés « à risque », EDF évalue la concentration maximale en hydrogène en cas de fuite, en supposant une dilution homogène de l'hydrogène dans le local. Si cette concentration est supérieure à la LIE, le local est identifié comme « à risque avéré ». Dans le cas contraire, le risque de formation d'un mélange inflammable localisé est systématiquement étudié par EDF. Cette analyse complémentaire permet de modéliser la fuite en tenant compte d'une possible accumulation locale d'hydrogène en cas d'impact du jet de gaz contre un obstacle. La démarche proposée par EDF est globalement acceptable. Toutefois, l'IRSN souligne que le RPrS de l'EPR2 ne mentionne pas l'approche dite « physique »⁵ de la dilution d'hydrogène à mettre en œuvre pour les locaux de grands volumes⁶, dans lesquels l'hypothèse de dilution homogène pourrait être mise en défaut. À l'issue de l'expertise, EDF s'est engagé à transmettre un document présentant une méthode d'analyse du risque d'explosion intégrant l'approche « physique » à échéance fin 2024 et à le référencer dans la mise à jour du RPrS à la même échéance.

Pour les locaux identifiés « à risque avéré », EDF réalise une analyse des conséquences de l'explosion sur les cibles de sûreté⁷ et vérifie que les objectifs de sûreté retenus pour l'EPR2 ne sont pas remis en cause. Dans le cas contraire, EDF envisage des modifications de conception. À ce stade d'avancement du projet EPR2, EDF n'a toutefois pas identifié de situation où le respect des objectifs de sûreté n'est pas garanti en cas d'explosion.

Le RPrS de l'EPR2 ne mentionne pas les inondations ou les incendies internes parmi les effets susceptibles d'être induits par une explosion. De plus, dans ses analyses, EDF retient l'hypothèse que les ondes de pression se propagent, d'un local à un autre, uniquement par des ouvertures dans les parois présentant une surface supérieure ou égale à 1 m². Enfin, EDF suppose certains équipements intrinsèquement résistants aux effets d'une explosion et transmettra la justification de leur caractère résistant lors de la mise à jour du rapport de sûreté en support au dépôt de la demande de mise en service de l'EPR2. EDF s'est toutefois engagé à transmettre, à échéance fin 2024, un document présentant l'approche retenue pour l'étude des inondations et des incendies induits par une explosion et la propagation des effets d'une explosion à travers des ouvertures de surface inférieure à 1 m² ainsi que la possible perte fonctionnelle des équipements situés dans les locaux en aval de ces ouvertures. Ce document sera référencé dans la mise à jour du RPrS à la même échéance.

Par ailleurs, EDF retient comme hypothèse que les voiles en béton sont robustes à tous les cas de charge étudiés. Lors de la phase de conception détaillée, EDF démontrera par calcul la résistance du génie civil des locaux « à risque avéré » jugés représentatifs. Cette démonstration figurera dans la mise à jour du rapport de sûreté transmise en support au dépôt de la demande de mise en service de l'EPR2. Néanmoins, le RPrS ne mentionne aucune exigence de sûreté appliquée aux locaux soumis aux effets d'une explosion (locaux « à risque avéré » et locaux dans lesquels les effets de l'explosion se propagent). Ces exigences de sûreté doivent être attribuées aux ouvrages ou parties d'ouvrages de génie civil associés à ces locaux et déclinées en exigences de comportement pour ces ouvrages ou parties d'ouvrages. En l'absence d'exigence dans le RPrS, il n'est pas acquis qu'EDF sera en mesure de démontrer leur respect au stade de la demande de mise en service de l'EPR2, ce qui n'est pas satisfaisant. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 2 présentée en annexe.**

⁵ L'approche « physique » vise à évaluer la présence d'un mélange inflammable qui pourrait se former au niveau du jet de gaz, non impactant, consécutif à la fuite.

⁶ EDF considère que l'ordre de grandeur de 1000 m³ constitue une valeur repère.

⁷ Les cibles peuvent être notamment l'équipement dans lequel l'explosion se produit (réservoir, tuyauteries...), les équipements situés dans le local où a lieu l'explosion et dans les locaux adjacents ainsi que le génie civil du local.

Enfin, EDF retient comme hypothèse que les secteurs de feu de sûreté restent intègres et stables en cas d'explosion. Lors de la phase de conception détaillée, EDF démontrera par calcul la tenue des secteurs de feu de sûreté soumis aux effets de surpression liés à une explosion. Selon l'IRSN, l'analyse doit porter sur l'ensemble des dispositions concourant à la sectorisation contre l'incendie liée à la sûreté (secteurs de feu, zones de feu, portes, clapets, systèmes de protection), sans se limiter aux seuls secteurs de feu. À l'issue de l'expertise, EDF a précisé que la démonstration de sûreté présentée pour la demande de mise en service de l'EPR2 permettra de justifier la tenue de la sectorisation incendie de sûreté en cas d'explosion. Néanmoins, le RPrS ne mentionne aucune exigence de sûreté à appliquer aux dispositions concourant à la sectorisation incendie de sûreté en vue de démontrer sa tenue en cas d'explosion. Les éléments présentés dans le RPrS sont donc trop succincts pour garantir qu'EDF sera en mesure de démontrer la tenue de la sectorisation incendie de sûreté en cas d'explosion au stade de la demande de mise en service de l'EPR2, ce qui n'est pas satisfaisant. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 3 présentée en annexe.**

1.2. RISQUES D'EXPLOSION A L'INTERIEUR DES SYSTEMES

Le risque d'explosion à l'intérieur des systèmes est lié à la formation d'une atmosphère explosive à l'intérieur même des systèmes, pouvant notamment être induite par une entrée d'air dans ces systèmes se mélangeant à l'hydrogène qu'ils contiennent. EDF se fixe comme objectif d'exclure le risque d'explosion à l'intérieur des systèmes dès la conception. La méthode d'analyse de ce risque retenue par EDF s'appuie sur l'identification des dysfonctionnements des systèmes pouvant conduire à cette formation d'atmosphère explosive à l'intérieur des systèmes, y compris pour les systèmes dont la concentration en hydrogène est inférieure à la LIE en fonctionnement normal. En fonction de l'enjeu de sûreté, du nombre et de la qualité des dispositions de maîtrise du risque d'explosion, EDF peut juger la situation comme acceptable. Dans le cas contraire, EDF envisage le classement de sûreté de certaines dispositions. **Sur le principe, cette méthode d'analyse n'appelle pas de commentaire de l'IRSN à ce stade d'avancement du projet EPR2 dans la mesure où l'objectif fixé par EDF est d'exclure ce risque dès la conception.** Par ailleurs, EDF s'est engagé à compléter le rapport de sûreté associé à la demande de mise en service de l'EPR2 afin d'y intégrer l'analyse exhaustive du risque d'explosion à l'intérieur des systèmes selon cette méthode, ainsi que leurs exigences associées. **L'IRSN estime cette échéance trop tardive. EDF devrait présenter les premiers éléments d'analyse de ce risque dans des délais compatibles avec l'instruction de la demande d'autorisation de création de l'EPR2.**

1.3. RISQUES D'EXPLOSION DANS LES LOCAUX BATTERIES

Le risque d'explosion interne dans les locaux de charge des batteries est lié au dégagement d'hydrogène, résultant de l'électrolyse de l'eau par le courant de charge. Les locaux abritant les batteries (dits locaux batteries) sont ainsi identifiés « à risque » d'explosion. Les dispositions retenues par EDF pour prévenir le risque de formation d'une atmosphère explosive dans les locaux batteries sont notamment une ventilation de ces locaux classée de sûreté, avec un requis d'opérabilité après séisme, et disposant d'une redondance de manière à garantir, en fonctionnement normal, une concentration en hydrogène inférieure à 10% de la LIE dans ces locaux. Par ailleurs, EDF prévoit de mettre en œuvre une détection d'hydrogène dans ces locaux qui est classée de sûreté avec un requis d'opérabilité après séisme et qui dispose d'une redondance et d'asservissements, dont la coupure de l'alimentation des batteries. Selon EDF, ces dispositions de maîtrise du risque d'explosion permettent de disposer d'un délai important pour la coupure de la charge des batteries et de justifier l'absence d'atmosphère explosive dans les locaux batteries. Ainsi, EDF n'envisage pas d'étudier systématiquement les conséquences d'une explosion dans ces locaux. **À ce stade d'avancement du projet EPR2, ces éléments sont acceptables sur le principe.**

1.4. RISQUES D'EXPLOSION DANS LA PRESSE A COMPACTER DU BATIMENT DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS

Le bâtiment de traitement des effluents abrite une presse à compacter dans laquelle peut survenir une explosion en cas d'introduction, par erreur, de déchets contenant des produits inflammables volatils (bombes aérosols en particulier). Les dispositions retenues par EDF pour prévenir le risque de formation d'une atmosphère explosive dans cette presse comprennent notamment un tri des déchets à la source et le contrôle des déchets aux rayons X. EDF s'engage à mentionner ces dispositions de prévention dans la prochaine mise à jour du RPrS, ce qui est satisfaisant sur le principe. Par ailleurs, EDF a précisé que le bâtiment de traitement des effluents n'abrite aucun moyen de gestion d'événements de type DBC⁸ ou DEC⁹ et que des éléments d'appréciation portant sur l'absence de conséquence pour la sûreté d'une éventuelle explosion impliquant des déchets à compacter seront présentés pour la demande de mise en service de l'EPR2. Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

2. RISQUES D'EXPLOSION DANS L'ILOT CONVENTIONNEL

Selon EDF, les risques d'explosion d'origine interne dans l'îlot conventionnel (à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments) sont liés à la présence de cadres de bouteilles d'hydrogène et d'un réservoir d'azote liquide dans les parcs à gaz, de l'alternateur alimenté en hydrogène et d'un stockage de produits chimiques implantés dans la salle des machines, ainsi que de procédés produisant de l'hydrogène en fonctionnement normal (dont le procédé d'électrochloration de l'eau de mer). En cours d'expertise, EDF a également identifié, comme sources potentielles d'explosion, le poste de vidange rapide de l'alternateur situé à l'extérieur ainsi que les circuits hydrogénés cheminant dans les ouvrages de liaison entre les parcs à gaz et les îlots nucléaire et conventionnel. À l'issue de son expertise, l'IRSN estime globalement acceptable, à ce stade d'avancement du projet EPR2, la démarche d'analyse d'EDF des risques d'explosion liés à toutes ces sources potentielles d'explosion. Des compléments de la part d'EDF sont attendus à échéance de fin 2024.

3. ASPECTS GENERIQUES AUX AGRESSIONS INTERNES APPLIQUES A L'EXPLOSION

Des aspects génériques aux agressions internes (dont les exceptions à la démarche de protection de l'installation contre les agressions internes), autres que l'explosion interne et l'incendie interne, ont déjà fait l'objet d'un examen par l'IRSN [4]. Les conclusions de cet examen restent valables pour l'explosion interne. En complément, pour ce qui concerne les modes communs de défaillance de fonctions de sûreté, EDF a précisé que l'explosion interne n'est pas identifiée comme pouvant rendre les fonctions de sûreté de catégories 1 et 2 indisponibles. EDF justifie sa position par le fait que l'ensemble des systèmes à risque d'explosion sont localisés dans la partie opérationnelle du bâtiment combustible, séparée des cibles de sûreté par un voile en béton résistant aux effets d'une explosion. Ce dernier point fait l'objet de la recommandation n° 2 formulée en annexe.

4. COMPLETUE DU RAPPORT PRELIMINAIRE DE SURETE

Conformément à l'article 4.4.13 du titre IV de la décision en référence [3], la version préliminaire du rapport de sûreté doit décrire et expliciter les méthodes, données, hypothèses et règles retenues sur lesquelles s'appuie la démonstration de sûreté nucléaire. Concernant l'agression explosion interne, EDF estime que l'ensemble des éléments appelés par cette décision est intégré dans le RPrS, au travers de sous-chapitres qui présentent les

⁸ Conditions DBC (design basis conditions) : conditions incidentelles et accidentelles du domaine de conception de référence qui sont classées en quatre catégories selon leur fréquence d'occurrence (DBC1 à DBC4).

⁹ Conditions DEC (design extension conditions) : conditions du domaine de conception étendu pour lesquelles la fusion de combustible est prévenue (DEC-A) ou postulée (DEC-B).

bases de conception et les méthodes d'analyses des risques liés à l'explosion d'origine interne, ainsi que les exigences de sûreté retenues pour la protection contre les agressions internes.

Selon l'IRSN, les éléments relatifs à la maîtrise du risque d'explosion interne figurant dans le RPrS à ce stade d'avancement du projet EPR2 sont à compléter. Si de nombreux compléments ont été annoncés par EDF en cours d'expertise, l'IRSN attire l'attention sur le fait qu'un grand nombre de ces compléments ne seront disponibles qu'à l'échéance de fin 2024. Cette échéance est jugée trop tardive par l'IRSN. Ainsi, il conviendra que ces compléments et les recommandations formulées en annexe soient pris en compte dans des délais compatibles avec l'instruction de la demande d'autorisation de création de l'EPR2.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Thierry PAYEN

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE A L'AVIS IRSN N° 2023-00100 DU 29 JUIN 2023

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF réalise une analyse des risques d'explosion liés à des fuites sur les portions courantes de tuyauteries des circuits hydrogénés au titre de la démonstration de sûreté. Il devra alors justifier la pertinence des règles d'étude et hypothèses retenues.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF définisse, dans le cadre de l'instruction de la demande d'autorisation de création de l'EPR2, les exigences de sûreté à appliquer aux ouvrages ou parties d'ouvrages de génie civil nécessaires au respect des objectifs de sûreté en cas d'explosion d'origine interne. Les exigences de comportement correspondantes ainsi que des premiers éléments de justification du respect de ces exigences devront également être présentés.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF définisse, dans le cadre de l'instruction de la demande d'autorisation de création de l'EPR2, les exigences de sûreté à appliquer aux dispositions concourant à la sectorisation incendie de sûreté en vue de démontrer sa tenue en cas d'explosion. Les premiers éléments de justification du respect de ces exigences devront également être présentés.