



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 2 décembre 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00224

Objet :	Réacteurs électronucléaires d'EDF de 1300 MWe Instruction anticipée portant sur les méthodes proposées par EDF pour évaluer les risques d'explosion interne dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe
Réf. :	[1] Saisine ASN CODEP-DCN-2022-021086 du 23 mai 2022. [2] Courrier ASN CODEP-DCN-2022-000945 du 27 juin 2022. [3] Courrier ASN CODEP-DCN-2021-007988 du 4 mars 2021.

Les risques d'explosion d'origine interne dans l'îlot nucléaire des réacteurs d'EDF sont essentiellement liés à la présence de circuits pouvant contenir des effluents hydrogénés gazeux (circuits hydrogénés) et de procédés et équipements produisant de l'hydrogène.

Dans le dossier d'orientation du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe (RP4 1300), EDF a indiqué que des évolutions de méthodes sont retenues concernant l'étude des risques liés à l'explosion d'origine interne, par rapport au précédent réexamen de ces mêmes réacteurs. Aussi, de manière anticipée à l'expertise de la déclinaison de ces méthodes dans le cadre du RP4 1300, et en réponse à la saisine de l'ASN citée en référence [1], l'IRSN a examiné les méthodes d'analyse transmises par EDF, relatives aux risques d'explosion d'origine interne :

- consécutifs à des fuites au niveau des singularités de tuyauteries véhiculant des gaz hydrogénés, en dehors du bâtiment réacteur (BR) ;
- consécutifs à des fuites au niveau des circuits hydrogénés dans le BR ;
- à l'intérieur des circuits hydrogénés de l'îlot nucléaire ;
- dans les locaux batteries.

Ces méthodes, complétées par la méthode de prise en compte d'un incendie induit par une explosion, constituent le référentiel relatif à la protection contre le risque d'explosion interne applicable aux études du RP4 1300.

L'ASN souhaite également recueillir l'avis de l'IRSN sur les dispositions de maîtrise des risques liés aux explosions d'origine interne envisagées par EDF au titre des modifications du RP4 1300.

L'IRSN a en particulier examiné la prise en compte par EDF, pour le présent réexamen, des thématiques ayant déjà fait l'objet de demandes ou remarques de l'ASN ou de l'IRSN lors d'instructions précédentes pour les

MEMBRE DE
ETSON

réacteurs du parc en exploitation. Concernant les modifications envisagées par EDF pour la maîtrise des risques liés à l'explosion d'origine interne, peu d'éléments figurent à ce stade dans les éléments expertisés. Ainsi, de manière générale, les dispositions de maîtrise des risques liés aux explosions d'origine interne envisagées par EDF au titre des modifications du RP4 1300 seront examinées ultérieurement par l'IRSN.

1. OBJECTIFS DE SÛRETÉ ET DÉMARCHE GÉNÉRALE D'ANALYSE

Les objectifs de sûreté retenus par EDF, vis-à-vis des agressions d'origine interne prises en compte au titre du dimensionnement, sont le repli et le maintien à l'état sûr de l'installation à la suite de l'agression.

La démarche générale retenue par EDF pour ce qui concerne le risque d'explosion lié à la présence d'hydrogène dans un local vise tout d'abord à identifier :

- les procédés et équipements produisant des gaz hydrogénés et les circuits contenant de tels gaz à une concentration pouvant être supérieure à leur limite inférieure d'explosivité¹ (LIE), ainsi que les locaux les abritant identifiés par EDF comme locaux « à risque potentiel d'atmosphère explosive » ;
- les locaux « à risque d'atmosphère explosive » ou « à risque d'atmosphère explosive localisée », constitués des locaux « à risque potentiel d'atmosphère explosive » pour lesquels une concentration en gaz hydrogénés supérieure à la LIE peut être atteinte en cas de dégagement anormal, respectivement dans l'ensemble du volume du local, ou de façon localisée.

Pour les locaux identifiés « à risque d'atmosphère explosive » ou « à risque d'atmosphère explosive localisée », EDF prévoit d'analyser les conséquences de l'explosion, en identifiant les cibles de sûreté endommagées par ses effets. Si le respect des objectifs de sûreté ne peut pas être garanti au terme de cette analyse, le local siège de l'explosion est identifié « à enjeux majeurs de sûreté ». Pour ces locaux, EDF vise en priorité la mise en place de dispositions de suppression du risque d'explosion.

Pour ce qui concerne les risques d'explosion à l'intérieur des circuits hydrogénés, EDF met en œuvre une démarche spécifique basée sur l'étude du risque de formation d'une atmosphère explosive dans les circuits en cas de dysfonctionnement des procédés.

Les conclusions de l'examen par l'IRSN de ces démarches générales sont exposées ci-après.

2. RISQUE D'EXPLOSION DANS LES LOCAUX LIÉ AUX CIRCUITS HYDROGÉNÉS

2.1. RISQUE D'EXPLOSION ASSOCIÉ AUX FUITES DES CIRCUITS HYDROGÉNÉS DE L'ÎLOT NUCLÉAIRE EN DEHORS DU BÂTIMENT RÉACTEUR

Dans l'îlot nucléaire en dehors du bâtiment réacteur (BR), EDF retient comme sources de dégagement les singularités à caractère démontable, présentes sur les tuyauteries véhiculant des gaz hydrogénés dont la concentration peut être supérieure ou égale à la LIE en condition maximale de fonctionnement. EDF étudie également les conséquences fonctionnelles d'une explosion survenant dans les locaux traversés par des tuyauteries hydrogénées susceptibles de conduire à la formation d'une atmosphère explosive en cas de fuite, et qui ne font pas l'objet d'une étude de fuite aux singularités (situations nommées ci-après fuites hors singularités).

¹ La LIE de l'hydrogène est de 4% en volume dans l'air.

Pour ce qui concerne l'étude des fuites aux singularités, EDF évalue tout d'abord si la concentration en hydrogène est supérieure ou égale à la LIE, en retenant une hypothèse de dilution homogène de l'hydrogène dans le local.

Si tel est le cas, EDF met en place des dispositions de prévention visant à limiter la présence de sources d'ignition. Toutefois, EDF ne tient pas compte des risques de transfert d'atmosphères explosives liés à une perturbation des flux d'air entre locaux à la suite d'une fuite hydrogénée. Ainsi, certains locaux pourraient à tort ne pas être identifiés comme à risque d'explosion alors qu'une atmosphère explosive pourrait s'y propager à partir de locaux adjacents où se produirait une fuite d'hydrogène. **Ceci n'est pas satisfaisant et conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 1 présentée en annexe.**

Dans le cas contraire, EDF étudie le risque de formation d'une atmosphère explosive localisée. **Ceci est satisfaisant sur le principe.**

EDF analyse ensuite les conséquences de l'explosion dans les locaux identifiés à risque d'explosion. Si les objectifs de sûreté de l'installation ne sont pas respectés, les locaux sont identifiés « à enjeux majeurs de sûreté » et EDF vise en priorité la mise en place de dispositions de suppression du risque d'explosion. À défaut, sur la base d'une analyse argumentée, EDF met en place des dispositions de limitation des sources d'ignition, si cela est techniquement possible.

A contrario, **pour les situations de fuites hors singularités**, EDF postule l'occurrence d'une explosion et étudie ses conséquences fonctionnelles en retenant des règles d'études et des hypothèses différentes, moins exigeantes, que celles considérées dans les études des explosions en cas de fuite aux singularités. En effet, les études liées aux fuites hors singularités étant considérées par EDF comme un complément à la démonstration de sûreté et ne portant pas la justification du respect des critères de sûreté, EDF indique qu'elles sont réalisées au titre de « la robustesse », ce qui autorise la mise en œuvre d'hypothèses différentes de celles retenues dans la démonstration de sûreté. Selon l'IRSN, la distinction faite par EDF pour l'analyse des fuites aux singularités et en dehors de celles-ci n'est pas justifiée. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 2 en annexe.**

2.2. RISQUE D'EXPLOSION ASSOCIÉ AUX FUTES DES CIRCUITS HYDROGÉNÉS DANS LE BÂTIMENT RÉACTEUR

Dans le bâtiment réacteur, pour les circuits véhiculant des gaz hydrogénés dont la concentration est égale ou supérieure à la LIE du mélange gazeux, EDF retient un possible dégagement d'hydrogène aux singularités à caractère démontable ainsi que sur les portions courantes des tuyauteries hydrogénées. Pour ces circuits, EDF retient les concentrations moyennes en hydrogène majorées de trois écarts-types dans les réservoirs reliés. **Dans le cadre de la lettre de clôture du deuxième réexamen périodique des réacteurs de type N4, l'ASN a demandé à EDF [2] de justifier le caractère conservatif d'une telle hypothèse et de réaliser une étude de sensibilité basée sur les concentrations maximales en hydrogène.**

Pour le cas particulier des circuits hydrogénés reliés au pressuriseur, EDF n'étudie aucune fuite sur ces circuits parce qu'ils sont dimensionnés au séisme et au séisme événement² et protégés contre les effets de fouettement d'une rupture de tuyauterie haute énergie. Toutefois, à la fin de l'expertise, EDF a indiqué que la démonstration de sûreté sera complétée pour justifier le caractère non plausible de la formation d'une atmosphère explosive si l'on considérait une fuite sur les lignes connectées au pressuriseur malgré les dispositions de conception retenues.

Pour les fuites analysées dans le BR, EDF étudie le risque de formation d'une atmosphère explosive suivant la même approche que celle retenue dans les locaux de l'îlot nucléaire en dehors du BR, décrite ci-dessus. Pour les

² Le risque « séisme événement » est le risque d'agression d'un élément important pour la protection requis au séisme (matériel cible) par un autre équipement non requis au séisme (agresseur).

locaux non dédouanés à l'issue de cette étape, EDF réalise une analyse complémentaire visant à apprécier la réactivité du mélange de gaz inflammables ou sa dispersion à l'aide de modélisations. **Les éléments objectifs retenus pour dédouaner certaines atmosphères explosives localisées sont attendus dans le cadre des études RP4 1300.**

Dans les locaux présentant un risque de formation d'atmosphère explosive, EDF vise la mise en place de dispositions complémentaires (protection des circuits hydrogénés contre les agressions...), afin de supprimer le risque d'explosion ou de le rendre acceptable. **Ceci est satisfaisant sur le principe.**

2.3. RISQUE D'EXPLOSION À L'INTÉRIEUR DES CIRCUITS HYDROGÉNÉS

La démarche retenue par EDF pour analyser le risque d'explosion interne aux circuits hydrogénés de l'îlot nucléaire consiste, dans un premier temps, à recenser les situations conduisant à la formation d'une atmosphère explosive à l'intérieur de ces circuits. Pour les situations ainsi identifiées, EDF analyse les conséquences de l'explosion associée à partir d'une échelle qualitative de cotation : EDF distingue ainsi les situations ne conduisant pas à la formation d'un potentiel explosible de celles conduisant à une explosion susceptible d'endommager le circuit hydrogéné étudié, éventuellement le local siège de l'explosion et des locaux adjacents. S'agissant des scénarios d'explosion dont l'étude se limite à la réalisation de cette première étape d'analyse, EDF s'est engagé, dans le cadre du RP4 900, à présenter, pour les prochains réexamens de sûreté, les éléments objectifs justifiant l'absence de conséquence de ces explosions pour la sûreté.

Dans un second temps, les explosions susceptibles d'avoir des conséquences sur la sûreté sont analysées selon une approche tenant compte d'une probabilité de défaillance des dispositions de maîtrise du risque d'explosion mises en œuvre. Pour les situations dont la fréquence d'occurrence est considérée suffisamment faible, EDF estime que le risque d'explosion interne aux circuits hydrogénés est acceptable et ne nécessite pas de dispositions complémentaires. Dans le cas contraire, EDF étudie la mise en place de dispositions permettant de rendre le risque acceptable. Ces dispositions sont alors classées de sûreté. À cet égard, dans le cadre du RP4 900, l'ASN a demandé à EDF [3] de vérifier, pour les scénarios d'explosion interne aux circuits considérés comme résiduels à l'issue de l'analyse probabiliste et pour lesquels la maîtrise du risque n'est assurée que par une seule ligne de défense, que la défaillance de cette ligne de défense ne remet pas en cause leur caractère résiduel. La prise en compte de cette demande sera intégrée aux études RP4 1300 prévues d'être transmises pour fin 2022. **Ceci est satisfaisant sur le principe.**

3. RISQUE D'EXPLOSION DANS LES LOCAUX BATTERIES

Le risque d'explosion interne dans les locaux de charge des batteries est lié au dégagement d'hydrogène par les batteries. Afin de prévenir le risque de formation d'une atmosphère explosive, ces locaux disposent d'une ventilation, secourue électriquement et dimensionnée au séisme. Les équipements nécessaires à la ventilation des locaux batteries sont classés de sûreté au titre de la maîtrise du risque d'explosion interne.

EDF analyse le risque de formation d'une atmosphère explosive dans les locaux batteries en cas de perte de la ventilation dans ces locaux. Seuls les équipements nécessaires à la détection d'hydrogène dans les locaux batteries sont classés de sûreté au titre de la maîtrise du risque d'explosion interne. Toutefois, en RP4 1300, dans les cas où la détection d'hydrogène serait valorisée dans le cadre de l'analyse de la perte de la ventilation, alors la prise en compte d'un aggravant au titre des études pourrait se traduire par la définition d'exigences de sûreté pour les équipements assurant la détection d'anomalie de débit d'extraction d'air. **Ceci est satisfaisant sur le principe.**

S'il est démontré que la LIE de l'hydrogène ne peut pas être atteinte dans un local batteries en cas de perte de la ventilation, EDF considère que le risque d'explosion est maîtrisé. Dans le cas contraire, EDF analyse la possibilité de mettre en place des dispositions complémentaires pour maîtriser le risque. À défaut d'amélioration possible, EDF étudie les conséquences d'une explosion dans ces locaux batteries. Si les objectifs de sûreté de

l'installation ne sont pas respectés à l'issue de cette dernière analyse, les locaux batteries concernés sont identifiés « à enjeux majeurs de sûreté » et EDF met en place des dispositions de limitation des sources d'ignition.

À cet égard, dans le cadre des échanges portant sur les dispositions de maîtrise des risques liés aux explosions d'origine interne envisagées par EDF au titre des modifications du RP4 1300, l'ASN a demandé à EDF d'étudier la possibilité de mettre en place, dans les locaux batteries pour lesquels des enjeux de sûreté seraient identifiés, des mesures de suppression du risque à la source ou un dispositif automatique de coupure de la charge des batteries.

4. CONCLUSION

L'approche retenue par EDF pour l'étude des risques d'explosion d'origine interne dans le cadre du RP4 1300 s'inscrit dans la continuité de celle qui avait été proposée par EDF dans le cadre du RP4 900. L'IRSN considère toutefois que cette approche doit être complétée pour mieux intégrer les avancées issues des précédentes instructions relatives au risque d'explosion d'origine interne. Outre les évolutions déjà annoncées par EDF ou attendues en réponse aux demandes formulées par l'ASN, l'IRSN considère que le référentiel relatif à la protection contre le risque d'explosion d'origine interne applicable pour le RP4 1300 doit encore être complété par la prise en compte des recommandations formulées en annexe.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2022-00224 DU 2 DÉCEMBRE 2022

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF initie, dans le cadre du RP4 1300, pour les situations jugées les plus pénalisantes et éventuellement selon une approche simplifiée, l'étude des risques liés à un transfert d'atmosphère explosive dans des locaux qui n'auraient pas été identifiés par ailleurs à risque d'explosion.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF intègre, dans la démonstration de sûreté, l'étude des risques d'explosion consécutive aux fuites hors singularités des circuits hydrogénés en appliquant les hypothèses et règles d'étude de référence pour l'agression « explosion interne ». Le cas échéant, EDF justifiera le recours à des hypothèses et règles d'études spécifiques ou à des exigences de conception et d'exploitation différentes de celles retenues pour l'étude des fuites aux singularités.