

Fontenay-aux-Roses, le 16 décembre 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2020-00204

Objet : Réacteurs électronucléaires EDF – Projet EPR2
Prise en compte de la chute accidentelle d'un aéronef militaire

Réf. : [1] Avis ASN n°2019-AV-0329 du 16 juillet 2019.
[2] Lettre ASN CODEP-DCN-2020-045759 du 26 novembre 2020.
[3] Avis ASN CODEP-DCN-2015-000258 du 6 janvier 2015.

Dans son avis, cité en première référence, relatif au dossier d'options de sûreté présenté par Électricité de France (EDF) pour le projet de réacteur EPR nouveau modèle (EPR NM) et à son évolution de configuration EPR2, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) considère que « *la chute accidentelle d'un aéronef militaire doit être prise en compte au titre des agressions du domaine de conception de référence du projet de réacteur EPR NM et que des dispositions doivent être mises en œuvre afin :*

- *de ne pas entraîner d'accident dans l'installation (...). Toute exception devra être justifiée et la situation correspondante pourra être étudiée avec des règles d'étude appropriées. Cette situation ne devra pas conduire à la nécessité de mettre en œuvre des mesures de protection des populations ;*
- *de garantir la disponibilité d'un ensemble d'éléments importants pour la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement permettant l'accomplissement des fonctions de sûreté en dépit de l'ensemble des effets directs et indirects de la chute accidentelle d'un avion militaire ;*
- *d'éviter la remise en cause des justifications d'exclusion d'évènements déclencheurs ;*
- *de permettre l'atteinte puis le maintien d'un état sûr. »*

EDF ayant transmis ses éléments de réponse à cette demande pour le projet EPR2, l'ASN a souhaité recueillir, par lettre citée en deuxième référence, l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la prise en compte de la chute accidentelle d'un aéronef militaire pour ce projet et plus particulièrement sur :

- la cohérence des objectifs de sûreté retenus par EDF pour cette agression avec ceux préconisés par l'ASN. À défaut, l'IRSN examinera « *la capacité de la démarche d'EDF à apporter une raisonnable assurance de l'atteinte d'objectifs de sûreté suffisants pour une nouvelle installation* » ;
- les phénomènes pris en compte pour l'évaluation des effets de la chute accidentelle d'un aéronef militaire sur l'installation ;
- les principes de protection retenus au regard de cette agression et leur déclinaison aux systèmes, structures et composants (SSC).

1. OBJECTIFS DE SURETE ET PRINCIPES DE PROTECTION RETENUS

La prise en compte du risque lié à la chute accidentelle d'un aéronef sur le réacteur EPR2 repose pour EDF sur l'application de la règle fondamentale de sûreté 1.2.a au titre de laquelle la probabilité d'occurrence de la chute accidentelle d'un aéronef militaire est suffisamment faible pour ne pas être considérée dans la démonstration de sûreté. À la suite de la demande de l'ASN susmentionnée, EDF étudie toutefois la chute accidentelle d'un aéronef militaire de manière déterministe en retenant, pour objectifs de sûreté, l'absence d'impact radiologique hors du site ou un impact radiologique mineur. En outre, EDF propose de réaliser cette étude complémentaire en appliquant des règles, méthodes et hypothèses adaptées par rapport à celles usuellement retenues dans le domaine de conception de référence.

EDF ne répond donc pas pleinement à la demande de l'ASN, en particulier les objectifs de sûreté retenus ne correspondent qu'en partie à ceux y figurant, et ne sont donc pas totalement cohérents avec celle-ci.

L'IRSN a donc examiné le dossier présenté par EDF afin d'évaluer les conséquences pour la sûreté des différences que présente ce dossier par rapport à la demande de l'ASN, plus particulièrement au regard des points figurant dans la lettre citée en deuxième référence.

Pour ce qui concerne les principes de protection des SSC importants pour la sûreté requis en cas de chute accidentelle d'un aéronef militaire, la stratégie de conception d'EDF pour l'EPR2 consiste à :

- protéger, par un renforcement structurel ou par l'interposition d'écrans, les bâtiments abritant le combustible nucléaire et les systèmes assurant les fonctions nécessaires à la maîtrise des conséquences radiologiques en cas d'impact sur les bâtiments de l'îlot nucléaire ;
- s'appuyer sur la séparation géographique d'équipements assurant une redondance fonctionnelle, afin d'atteindre un état sûr.

Ainsi, pour l'îlot nucléaire, le bâtiment des auxiliaires de sauvegarde (HLC) fait l'objet d'une protection par écrans pour ses parois verticales. La toiture de ce bâtiment est renforcée à l'instar des parois externes du bâtiment du réacteur (HRA) et du bâtiment du combustible (HKA). Les autres bâtiments de sauvegarde (HLA et HLB) font quant à eux l'objet d'une séparation géographique.

L'examen des principes de renforcement structurel et de séparation géographique est présenté aux paragraphes 2 et 3 ci-après. S'agissant des protections par écran, leurs exigences de conception ne sont, à ce stade, pas définies mais des compléments sont attendus dans le cadre de la demande d'autorisation de création.

Par ailleurs, EDF n'a pas considéré les dommages aux réseaux de tuyauteries ou de câbles non protégés, occasionnés par la chute accidentelle d'un aéronef militaire. EDF vérifiera que la séparation géographique mise en place pour les réseaux enterrés importants pour la sûreté de l'installation est suffisante. Toutefois, l'IRSN estime que cet engagement est incomplet et qu'EDF devrait également considérer dans son étude les dommages aux réseaux de tuyauteries ou de câbles aériens. **Ceci conduit l'IRSN à formuler l'observation en annexe 2.**

2. CARACTERISATION DE L'AGRESSION

2.1. EFFETS MECANIQUES

Pour évaluer les sollicitations mécaniques induites par l'impact d'un aéronef militaire sur un bâtiment, EDF applique la courbe de chargement utilisée pour l'EPR de Flamanville. Cette courbe est également retenue pour les études des vibrations induites, en considérant le comportement non-linéaire des matériaux. Pour ces études,

EDF considère le point d'impact de l'aéronef au centre des parois exposées et les angles d'impact de l'aéronef suivants :

- une trajectoire normale aux parois pour les études de résistance structurelle ;
- une trajectoire normale aux parois verticales et un angle de pente¹ différent sur les toitures, pour les études de vibrations induites. Cette valeur est déduite des différentes configurations de vol des aéronefs militaires sur le territoire français et de l'accidentologie de tels appareils.

L'IRSN relève que ces pratiques diffèrent de celles utilisées pour l'EPR de Flamanville, pour lesquelles une courbe de chargement spécifique a été retenue pour l'étude des vibrations induites, mais constituent une évolution acceptable. Cependant, la considération d'un point d'impact situé au centre des parois ne correspond pas systématiquement à une configuration enveloppe à l'égard des efforts de cisaillement et des vibrations induites. EDF prévoit toutefois de fournir, dans le cadre de la demande d'autorisation de création, une étude de sensibilité sur la position du point d'impact, **ce qui est satisfaisant.**

S'agissant de l'angle de pente à retenir dans les études de vibrations induites par l'impact d'un aéronef militaire sur les toitures, l'IRSN considère qu'un certain conservatisme s'impose compte tenu des incertitudes sur ce paramètre. De plus, dans les situations où la chute accidentelle d'un aéronef militaire doit être considérée de manière déterministe, les pratiques internationales recommandent de retenir un angle d'impact normal aux parois. C'est d'ailleurs l'hypothèse retenue à la conception de l'EPR de Flamanville. L'étude des vibrations induites par l'impact d'un aéronef militaire sur une toiture selon un angle différent n'apparaît donc pas satisfaisante. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 1 en annexe 1.**

2.2. PROJECTILES SECONDAIRES ET EFFETS THERMIQUES INDUITS

L'impact d'un aéronef sur une surface induit également des projectiles secondaires, constitués de parties de l'aéronef ou d'éléments issus de la surface impactée, ainsi que des effets thermiques principalement associés à la combustion du carburant embarqué.

Pour ce qui concerne les projectiles secondaires associés à la chute accidentelle d'un aéronef militaire, EDF considère que dans la zone d'effets induits proche du point d'impact, les dispositions de protection contre les projectiles émis seront définies en valorisant, le cas échéant, les dispositions contre la chute accidentelle d'un aéronef de l'aviation générale. Au-delà de cette zone, EDF considère que l'impact des projectiles secondaires ne nécessite pas de protection complémentaire à celles mises en œuvre contre les projectiles associés aux tornades ou aux grands vents.

L'IRSN convient que la valorisation des dispositions de protection prévues en cas de chute accidentelle d'un aéronef de l'aviation générale est acceptable. En revanche, les protections contre l'agression de projectiles associés aux tornades ou aux grands vents ne sont pas suffisantes au regard des masses des projectiles et des vitesses d'impact réduites pour lesquelles elles sont prévues. La démonstration de sûreté ne peut donc pas s'appuyer sur les SSC uniquement pourvus de ces protections en cas d'impact par un projectile induit par la chute accidentelle d'un aéronef militaire. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 2 en annexe 1.**

Par ailleurs, EDF considère que les réservoirs d'un aéronef militaire en difficulté seront vidangés avant l'impact sur l'installation et qu'il n'y aura donc pas d'incendie induit par une telle chute. L'IRSN souligne que de nombreux accidents d'aéronefs militaires se sont produits alors qu'une quantité significative de carburant était présente dans les réservoirs, au moment de l'impact au sol. Les conséquences de l'incendie de telles quantités de carburant sont donc à analyser. À cet égard, l'IRSN rappelle que la prise en compte d'un incendie induit par la chute accidentelle d'un aéronef a déjà fait l'objet d'une demande de l'ASN dans l'avis cité en troisième référence,

¹ L'angle de pente est l'angle formé entre l'horizontale et la trajectoire de l'avion.

relatif au réexamen de sûreté associé aux troisièmes visites décennales des réacteurs de 1300 MWe. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 3 en annexe 1.**

3. EXIGENCES ET JUSTIFICATION DE LA TENUE DES SSC

EDF présente les exigences de sûreté attribuées aux bâtiments de l'îlot nucléaire et aux équipements nécessaires à la démonstration d'absence de fusion du combustible, c'est-à-dire les circuits primaire et secondaire et les systèmes requis pour ramener l'installation dans un état sûr en cas de chute accidentelle d'un aéronef militaire.

Pour l'IRSN, ces exigences de sûreté sont trop générales pour se prononcer. De plus, EDF ne présente pas une liste exhaustive des SSC nécessaires au respect des objectifs de sûreté en cas de chute d'un aéronef militaire. Ainsi, à ce stade, l'IRSN ne peut pas s'assurer que l'ensemble des fonctions de sûreté requises sera maintenu suite à cette agression. Pour cela, EDF apportera des éléments complémentaires sur les exigences applicables aux SSC requis dans le cadre de la demande de mise en service. **L'IRSN estime que la démonstration devra être apportée à la demande d'autorisation de création.**

3.1. EXIGENCES RELATIVES AUX SSC

EDF présente les exigences de comportement des ouvrages de génie civil importants pour la sûreté requis en cas de chute accidentelle d'un aéronef militaire, telles que l'absence de déchirement de liners ou de perforation de parois en béton. EDF définit également des exigences de maintien des supportages des équipements requis et d'absence d'agression de ces équipements. Cela concerne notamment l'intégrité du circuit primaire et la stabilité, l'intégrité ou l'opérabilité pour les autres équipements requis. En particulier, une exigence de maintien des supportages des équipements requis qui sont localisés dans les bâtiments HLA et HLB est définie lorsque l'ouvrage n'est pas impacté directement. **À ce stade, les exigences associées au SSC n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.**

3.2. DEMARCHE DE JUSTIFICATION DE LA TENUE DES SSC

EDF précise que les études de résistance à l'impact des ouvrages de génie civil portent sur l'absence de perforation et de poinçonnement, ainsi que sur la vérification à la flexion et au cisaillement du béton armé ou précontraint. La justification de l'absence de déchirement des liners sera apportée en comparant la déformation calculée sur la face interne des parois à la capacité de déformation maximale admissible de l'acier du liner. Pour justifier la tenue des équipements aux vibrations induites, EDF vérifiera que les spectres de séisme couvrent les spectres d'ébranlement induit par la chute accidentelle d'un aéronef militaire, et le cas échéant effectuera des calculs ou des essais spécifiques. **L'IRSN considère ces démarches de justification acceptables.**

4. ANALYSE FONCTIONNELLE EN CAS D'IMPACT D'UN AERONEF MILITAIRE SUR LES BATIMENTS

L'analyse fonctionnelle menée par EDF porte sur les conséquences de la chute accidentelle d'un aéronef militaire sur dix bâtiments de l'installation. Pour six d'entre eux, l'agression conduit à un accident dont quatre nécessitent d'être étudiés selon des règles différentes de celles du domaine de conception de référence pour démontrer le respect des objectifs de sûreté.

En cas d'impact d'un aéronef militaire sur le bâtiment du combustible, les dommages considérés combinés à l'application des hypothèses associées au domaine de conception de référence conduisent à la perte des moyens de refroidissement en circuit fermé de la piscine. L'IRSN considère que les trains du système de traitement et

refroidissement des piscines (PTR) abrités dans le bâtiment du combustible doivent faire l'objet d'exigences de sûreté garantissant leur disponibilité en cas de chute accidentelle d'un aéronef militaire. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 4 en annexe 1.**

La séparation géographique des bâtiments HLA et HLB permet d'éviter la perte concomitante de l'ensemble des équipements abrités dans ces bâtiments en cas de chute accidentelle d'un aéronef militaire. Néanmoins, ces bâtiments ne sont pas conçus pour résister à cette agression, EDF retient donc une situation de vidange simultanée de deux générateurs de vapeur, consécutive à la rupture postulée d'une paire de tuyauteries de vapeur principales, ainsi que l'indisponibilité des systèmes abrités dans le bâtiment impacté. Cette situation sera étudiée avec des règles adaptées et présentée dans le rapport préliminaire de sûreté. Selon EDF, pour éviter une telle situation, l'unique solution serait le renforcement structurel total de ces bâtiments. Cependant, cette évolution majeure ne lui apparaît pas raisonnable au regard du faible bénéfice pour la sûreté escompté. Ainsi, EDF propose de reconduire la démarche d'étude retenue pour l'EPR de Flamanville. **Au vu des éléments dont il dispose, ce point n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

La station de pompage de sûreté ne bénéficie pas d'une protection structurelle contre la chute accidentelle d'un aéronef militaire. EDF considère que cette situation induirait la perte des trains du circuit de refroidissement (RRI/SEC) présents dans le bâtiment. Cette perte couplée à l'application des hypothèses associées au domaine de conception de référence, sur les trains situés hors de la station de pompage de sûreté, conduirait à un nombre insuffisant de trains RRI/SEC disponibles. EDF indique qu'il serait toutefois en mesure de gérer cette situation accidentelle à l'aide de systèmes dont le classement de sûreté ne permet pas de les valoriser dans le domaine de conception de référence. De son analyse des différentes protections envisageables pour éviter une telle situation, EDF retient que l'unique solution serait le renforcement structurel complet de la station de pompage de sûreté. Cependant cette solution ne lui apparaît pas raisonnable au regard du faible bénéfice pour la sûreté escompté. **Au vu des éléments dont il dispose, ce point n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

La salle des machines ne bénéficie pas d'une protection structurelle contre la chute accidentelle d'un aéronef militaire susceptible de provoquer la rupture des tuyauteries de vapeur principales qui y sont présentes. Sur ce point, des compléments sont attendus d'ici fin 2021.

En ce qui concerne les autres bâtiments étudiés, l'IRSN estime que les éléments présentés ou annoncés au cours de l'expertise apparaissent acceptables sur le plan des principes.

5. CONCLUSION

La démarche d'EDF est en retrait par rapport à la demande de l'ASN d'étudier la chute accidentelle d'un aéronef militaire au titre du domaine de conception de référence, bien que cette demande ait été faite à un stade précoce de la conception. EDF ne retient pas l'ensemble des objectifs mentionnés dans la demande de l'ASN, à savoir que cette chute n'entraîne pas d'accident et ne remet pas en cause la justification d'exclusion d'événements. En outre, EDF n'applique pas systématiquement les règles, méthodes et hypothèses usuellement retenues dans le domaine de conception de référence. Ainsi, l'IRSN estime que des exigences de sûreté sont nécessaires sur le système de traitement et refroidissement des piscines pour remplir ses fonctions à la suite de la chute accidentelle d'un aéronef militaire sur le bâtiment du combustible.

L'IRSN a également identifié des insuffisances au regard de la prise en compte des phénomènes ou de la définition des chargements pour l'évaluation des conséquences de la chute accidentelle d'un aéronef militaire sur l'installation, notamment les effets de la combustion du kérosène et la définition de l'angle d'impact sur les bâtiments.

Au vu de ces éléments, l'IRSN considère que l'atteinte d'objectifs de sûreté suffisants pour le réacteur EPR2 au regard de la chute accidentelle d'un aéronef militaire nécessite que les recommandations en annexe 1 soient prises en compte.

IRSN
Le Directeur général
Par délégation
Thierry PAYEN
Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2020-00204 DU 16 DECEMBRE 2020

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF retienne une chute d'aéronef selon une trajectoire normale aux parois dans les études de vibrations induites par l'impact d'un aéronef militaire sur les toitures.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF considère dans la démonstration de sûreté, que les structures, systèmes et composants non protégés contre la chute accidentelle d'un aéronef de l'aviation générale n'assurent plus leurs fonctions en cas d'impact d'un projectile secondaire induit par la chute d'un aéronef militaire.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF prenne en compte les effets de la combustion du kérosène dans la démonstration de sûreté et mette en œuvre les protections appropriées pour atteindre les objectifs de sûreté.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande que des exigences soient retenues à la conception des trains du système PTR abrités dans le bâtiment du combustible afin de garantir leur fonctionnement à la suite de la chute accidentelle d'un aéronef militaire sur ce bâtiment.

ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2020-00204 DU 16 DECEMBRE 2020

Observation de l'IRSN

L'IRSN considère qu'EDF devrait intégrer, dans les analyses fonctionnelles, les dommages aux réseaux de tuyauteries ou de câbles aériens se trouvant dans la zone d'effets de la chute accidentelle d'un aéronef militaire.