

Montrouge, le 27 mai 2021

Références courrier :

CODEP-DCN-2021-017553

CODEP-DRC-2021-017735

Destinataires *in fine*

OBJET : Aléas à retenir pour la protection des éléments importants pour la protection (EIP) à l'égard des tornades

RÉFÉRENCES : *in fine*

Madame, Messieurs,

Dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté (ECS) et de la prise en compte des risques d'agression liés aux tornades pour le dimensionnement des INB, vous avez transmis à l'ASN, entre 2013 et 2016 ([1] à [7]), des analyses méthodologiques relatives à l'évaluation de la probabilité d'occurrence des tornades sur le territoire métropolitain et à la prise en compte de ce risque pour l'ensemble de vos installations.

Dans un souci de cohérence, l'ASN a souhaité que soient expertisés dans un même cadre les éléments méthodologiques du CEA, d'EDF et d'Orano portant sur :

- la définition des niveaux d'aléa devant être retenus au titre du dimensionnement des installations et des situations relevant des agressions du « noyau dur » ;
- les caractéristiques des projectiles associés aux tornades à retenir ;
- la prise en compte des effets des tornades sur les éléments importants pour la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement (EIP).

À la suite de l'expertise de l'IRSN ([8] et [9]), vous avez transmis à l'ASN vos positions ([10] à [12]) afin de répondre aux observations et recommandations formulées.

*

Vos approches reposent principalement sur une méthode probabiliste fondée sur le référentiel de l'autorité de sûreté américaine ([13] et [14]) que vous appliquez au territoire français métropolitain. Cette méthode vous permet d'estimer la probabilité d'occurrence des différents niveaux d'intensité des tornades, à savoir les vitesses de vent de tornade, tels que définis sur l'échelle de Fujita améliorée. Au regard des tornades recensées en France métropolitaine, vous estimez les fréquences de dépassement des tornades associées aux niveaux les plus faibles (EF0 et EF1) à quelques 10^{-5} par an et celles des tornades d'intensité supérieures (EF4) à quelques 10^{-7} par an. L'évaluation des fréquences de dépassement est conforme à la pratique nord-américaine et n'appelle pas de remarque.

Néanmoins, les connaissances actuelles du phénomène de tornade en France présentent de nombreuses incertitudes (surfaces dévastées, influence de la topographie, variations d'intensité, régionalisation du risque, etc) en ce qui concerne le recensement des événements passés en France métropolitaine et la dimension des cibles. L'ASN a donc identifié, dans son avis du 4 mai 2018 [19], cette problématique comme un sujet de recherche à approfondir.

Je considère que la seule prise en compte d'un objectif probabiliste n'est pas suffisante pour définir les intensités et vitesses de vent de la tornade de référence. L'aléa doit également être défini en fonction des événements historiques extrêmes et son évaluation doit ainsi s'appuyer en complément sur une approche déterministe, fondée sur les tornades observées en France. Étant donné le caractère rare et l'étendue limitée des tornades, il n'est toutefois pas pertinent de retenir, pour un site donné, le retour d'expérience français le plus défavorable (deux tornades de niveau EF5 recensées en France).

En revanche, je considère que les installations doivent pouvoir faire face à des tornades représentatives d'un retour d'expérience régional régulier. Je vous demande donc de protéger les EIP ne faisant pas partie du « noyau dur » mais dont la fonction doit rester assurée pendant et après la tornade (effet direct et indirect) contre une tornade d'intensité au moins EF2, définie par la vitesse moyenne des vents caractérisant cette intensité, à savoir 55 m/s.

Pour les niveaux de tornades à retenir pour le « noyau dur », je considère que, compte tenu de la proportion significative et de la répartition relativement homogène des tornades jusqu'à l'intensité EF3 sur le territoire, vous devez retenir une tornade d'intensité EF3, définie par la vitesse moyenne des vents caractérisant cette intensité, à savoir 68 m/s. Pour les sites situés dans des zones marquées par un retour d'expérience défavorable (à savoir, les sites pour lesquels une tornade d'intensité EF5 ou plusieurs tornades d'intensité EF4 ont été observées dans un rayon de 50 km depuis 1680), une intensité de niveau EF4, définie par une vitesse moyenne des vents égale à 81 m/s doit être considérée pour le « noyau dur » ; les sites concernés sont ceux de Gravelines, Penly, Paluel, Chooz et Saclay.

Concernant la définition des caractéristiques de la variation maximale de pression (pression aérodynamique) et de la vitesse de variation maximale de pression associée (pression barométrique), différents modèles existent pour les composantes de vent, selon le modèle de vortex retenu. Compte tenu de la difficulté à définir un modèle de tornade réaliste et robuste vis-à-vis des différentes composantes du vent et étant données les fortes incertitudes portant, notamment, sur la vitesse radiale du vent, il convient de retenir un modèle simplifié et conservatif.

Ainsi, je vous recommande de déterminer la variation maximale de pression et la vitesse de variation maximale de pression associée par les formules présentées dans la réglementation américaine RG 1.76 [13]. Toutefois, compte tenu des fréquences associées aux niveaux de tornades retenus, il est acceptable de retenir les préconisations de l'édition 2015 du code RCC-CW [16] pour le calcul de ces caractéristiques en prenant en compte une composante radiale du vent égale à la moitié de la vitesse tangentielle.

*

Pour les projectiles induits par la tornade, je vous demande de retenir :

- pour les éléments importants pour la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement (EIP) ne faisant pas partie du « noyau dur », un projectile de type « planche de bois » (de dimensions 0,10 m x 0,25 m x 3,80 m et de 50 kg) et un projectile de type « bille d'acier » (de 2,5 cm de diamètre et 70 g) ;
- pour les EIP du « noyau dur », un projectile de type « bille d'acier » (de 2,5 cm de diamètre et 70 g), un projectile de type « tube d'acier » (de diamètre 0,17 m, de longueur 4,6 m et de 130 kg) et un projectile de type « automobile » (de dimensions 4,5 m x 1,7 m x 1,5 m et de 1180 kg). Pour les automobiles, les hauteurs minimale de déplacements sont de trois mètres pour les tornades d'intensité EF3 et de 9 m pour les tornades EF4 ;
- une vitesse horizontale des projectiles respectivement égale à un tiers de la vitesse du vent de la tornade pour les projectiles de type « planche de bois », « tube d'acier » et « automobile » et à 8 % de la vitesse du vent de la tornade pour le projectile de type « bille », ainsi qu'une vitesse verticale égale aux deux tiers de la vitesse horizontale du projectile.

Vous trouverez en pièce jointe du présent courrier les demandes particulières associées à l'évaluation des effets d'une tornade sur les EIP.

Pour les installations autres que les réacteurs électronucléaires d'EDF en construction ou en fonctionnement, les exigences relatives à l'aléa, aux projectiles et à leurs effets, formulées ci-dessus devront être considérées dans la démonstration de sûreté nucléaire des nouvelles installations, au titre

de leur dimensionnement, et lors des réexamens périodiques des INB existantes postérieurs au 1^{er} janvier 2022.

Pour les réacteurs électronucléaires d'EDF en construction ou en fonctionnement, ces exigences devront être intégrées dans la démonstration de sûreté nucléaire et les modifications associées déployées selon le calendrier ci-après :

- pour les réacteurs de 1300 MWe :
 - o entre 2025 et fin 2028 au plus tard, selon le calendrier sur lequel s'est engagée EDF¹, pour les EIP ne faisant pas partie du « noyau dur » dont la fonction doit rester assurée pendant et après l'agression tornade,
 - o au plus tard lors de la remise du rapport de conclusion du quatrième réexamen périodique, pour les demandes relatives au « noyau dur » ;
- pour les réacteurs de 1450 MWe, au plus tard lors de la remise du rapport de conclusion associé au troisième réexamen périodique, pour l'ensemble des demandes du présent courrier ;
- pour le réacteur EPR de Flamanville, au plus tard à l'échéance de remise du dossier de fin de démarrage, pour les demandes s'appliquant à ce réacteur.

L'ASN a pris position pour les réacteurs de 900 MWe dans son courrier en référence [20].

*

Enfin, au cours de l'instruction, vous avez convenu que, lorsque les écarts des vitesses de vent de tempête et de tornade sont faibles, il n'est pas possible de déterminer *a priori* quelle agression est plus pénalisante que l'autre. J'ai bien pris note de votre engagement ([10] à [11][12]) à prendre en compte, lors de la réalisation de vos études, les chargements issus des agressions « vents de tempête » et « vent de tornade » ou à justifier que le chargement associé à l'une des agressions est enveloppe de l'autre.

Je vous prie d'agréer, Madame, Messieurs, l'expression de ma considération distinguée.

Signé par : le directeur général

Olivier GUPTA

¹ Pour les réacteurs de 1300 MWe, EDF s'est engagée à réaliser ces modifications sur quatre réacteurs au plus tard en 2025, cinq autres réacteurs au plus tard en 2026, huit autres réacteurs au plus tard en 2027 et enfin sur les trois réacteurs restants en 2028.

A. Méthodologie de prise en compte des effets des tornades sur les structures de génie civil et les matériels

A.1. Bardages métalliques

Au cours de l'instruction, vous avez proposé de déterminer les effets de la dépression d'une tornade sur un bâtiment en tenant compte de la perméabilité des parois, établie en considérant l'ensemble des traversées susceptibles d'être ouvertes (grilles, fenêtres, portes, lanterneaux, ...). Vous considérez que la différence de pression aurait peu d'effet sur les structures :

- dans le cas des bardages à double peau ou pour les couvertures revêtues d'un complexe d'étanchéité, si la différence de pression est inférieure ou égale à 15 % de l'action directe du vent de tornade ;
- dans les cas des bardages à simple peau, sans isolation thermique.

Je considère acceptable de retenir que le chargement est négligeable dans le cas des structures avec un bardage à simple peau sans isolation thermique et une couverture coulée sur des bacs en acier sans revêtement d'étanchéité, ainsi que pour les structures ayant une perméabilité supérieure à 0,1 %.

Toutefois, je considère que, pour le cas des bardages à double peau ou pour les couvertures revêtues d'un complexe d'étanchéité, le critère de différence de pression de 15 % ne peut pas être généralisé. En effet, vous avez établi cette valeur pour une tornade et un bâtiment particulier. De plus, le taux de perméabilité doit être établi en considérant la structure en situation d'exploitation. En particulier, certaines portes sont à considérer en position fermée.

Demande n° 1 : Je vous demande de prendre en compte, pour les structures appartenant ou non au « noyau dur », constituées de bardages métalliques ou de toitures métalliques (hors structures avec un bardage à simple peau, sans isolation thermique et sans revêtement d'étanchéité), les effets de la variation de pression atmosphérique due à une tornade :

- soit en évaluant la différence de pression de part et d'autre des parois, en fonction du taux minimal de perméabilité caractérisé à partir d'essais de produits similaires à ceux mis en œuvre, dans la configuration de la structure correspondant aux situations d'exploitation ;

- soit en considérant que la différence maximale de pression de part et d'autre de la paroi est égale à la variation maximale de la pression atmosphérique, dans le cas où le taux minimal de perméabilité ne peut pas être caractérisé.

A.2. Risque d'écaillage des parois en béton

Je considère que vous devez vous assurer de l'absence de conséquence d'un éventuel écaillage des parois en béton armé susceptibles d'être impactées par un projectile.

À cet égard, l'épaisseur minimale² d'une paroi en béton permettant d'assurer une absence d'écaillage lors de l'impact d'un tube métallique (projectile considéré uniquement pour le niveau d'aléa du « noyau dur ») a été évaluée lors de l'instruction à des valeurs comprises entre 26 et 29 cm pour les parois verticales et 20 et 23 cm pour les parois horizontales (toitures), en fonction du niveau de tornade considéré (niveau EF3 ou EF4). EDF a apporté la démonstration que, dans la majorité des cas, ces épaisseurs sont respectées³, à l'exception de quelques singularités.

Demande n° 2 a : Pour les bâtiments des installations autres que les centrales nucléaires d'EDF en construction ou en fonctionnement abritant des EIP, faisant ou non partie du « noyau dur », je vous demande d'évaluer le risque d'écaillage du béton sous l'effet d'un projectile mis en mouvement par une tornade. Dans le cas où ce risque ne peut être écarté, vous devrez en étudier les éventuelles conséquences sur le supportage et l'intégrité des EIP et, le cas échéant, mettre en œuvre des dispositions de protection adaptées.

Demande n° 2 b : Pour les bâtiments des centrales nucléaires actuellement en fonctionnement (hors réacteur EPR), je vous demande de vérifier l'absence d'EIP du « noyau dur » à proximité de singularités susceptibles de conduire à un écaillage et, le cas échéant, d'étudier et mettre en œuvre des dispositions de protection adaptées.

² Les hypothèses considérées par l'IRSN correspondent à un tube métallique d'une masse de 130 kg et d'un diamètre de 0,168 m, un béton de résistance caractéristique à la compression de 30 MPa, des vitesses de vent de 68 m/s et 81,5 m/s induisant une vitesse de projectile de 22,5 m/s et 27,2 m/s (respectivement pour le niveau EF3 et EF4). L'IRSN a utilisé la méthode préconisée par l'édition 2015 du RCC-CW [16] pour effectuer ses calculs.

³ Par le courrier en référence [17], EDF a indiqué que l'épaisseur des voiles des parties courantes, vérifiées par sondage sur la centrale nucléaire du Bugey et quelques bâtiments des réacteurs de 900 MWe de type CPY, est supérieure aux valeurs (26 et 29 cm) obtenues par l'IRSN. Hormis pour quelques singularités, les phénomènes d'écaillage sont écartés. EDF précise également [17] que la présence d'équipements du « noyau dur » à proximité des singularités, susceptibles d'être agressés en cas d'écaillage, n'a pas été vérifiée.

Pour les toitures, EDF justifie de manière qualitative l'absence d'impact (revêtement multicouche, toiture coulée sur des bacs en acier).

Par les courriels des 2 et 20 avril 2021, EDF indique que les réacteurs de 1300 MWe et 1450 MWe présentent également quelques singularités au niveau des voiles et des toitures.

Par le courrier en référence [18], EDF considère que le risque d'écaillage est écarté pour les bâtiments abritant des systèmes, structures et composants du « noyau dur » du réacteur EPR de Flamanville étant donné que l'épaisseur des voiles latéraux et des toitures est largement supérieure à l'épaisseur minimale.

A.3. Charpentes métalliques

Dans vos analyses des caractéristiques des projectiles à retenir, vous analysez l'impact d'un tube d'acier pour les tornades de type EF3 ou EF4 mais vous ne considérez pas qu'il puisse arriver perpendiculairement à l'ossature des charpentes métalliques car vous jugez cette configuration peu vraisemblable.

L'ASN note que cette situation est moins probable que l'impact du tube d'acier sur une partie quelconque d'une paroi ou arrivant sur l'ossature avec un angle quelconque. Toutefois, vos hypothèses conduisent à ce que l'impact ne soit analysé qu'en termes de risque de perforation de la paroi. Dans les cas où l'analyse d'impact du projectile « automobile » serait écartée, par exemple du fait de la présence d'obstacles proches des EIP à protéger, aucune analyse de stabilité des structures ne serait alors réalisée. L'impact d'un projectile de type « tube d'acier », ou de tout autre agresseur potentiel de même type, généré par une tornade, ne pouvant être écarté, je considère que le risque que ce type de projectile remette en cause la stabilité des charpentes métalliques doit être évalué pour les EIP du « noyau dur ».

Une telle démarche peut être menée en identifiant les points sensibles de la charpente et en évaluant leur vulnérabilité au projectile « tube d'acier », au vu des configurations qui conduiraient à les endommager.

Par le courrier en référence [18], EDF précise que les bâtiments en structures métalliques du réacteur EPR de Flamanville n'abritent pas de systèmes, structures et composants du « noyau dur ».

Demande n° 3 : Pour toutes les INB dotées d'un « noyau dur » à l'exception du réacteur EPR de Flamanville, je vous demande d'identifier les points sensibles des charpentes métalliques des bâtiments contenant des EIP du « noyau dur », du point de vue de leur stabilité à l'égard d'un projectile de type « tube d'acier », et d'évaluer la nécessité d'une protection.

RÉFÉRENCES

- [1] Note d'étude EDF n° D305915017295 [A] du 6 novembre 2015 : « *Référentiel des exigences de sûreté de protection contre les risques associés à la tornade (2015)* »
- [2] Note d'étude EDF n° D305915017293 [A] du 9 novembre 2015 : « *Les tornades – Actualisation de l'évaluation de la probabilité d'occurrence en France* »
- [3] Note de méthodologie EDF : D305915003592 A indice C du 14 août 2013 : « *Méthodologie de vérification des bâtiments vis-à-vis du risque tornade* »
- [4] Note AREVA TM ARV 3SE INS 14-013 RO du 23 janvier 2015 : « *Principes d'analyse des phénomènes de type tornade* »
- [5] Lettre CEA MR/DPSN/DIR/2015/192 du 31 mars 2015 : « *Guide d'étude du génie civil des installations – méthode de prise en compte des tornades* »
- [6] Lettre CEA/DEN/CAD/DIR/CSN DO 178 du 31 mars 2015 : « *Centre de Cadarache – Évaluations complémentaires de sûreté – Réponse à la prescription CEA-CAD-ND04* »
- [7] Lettre CEA/DPSN/DIR/2016-152 du 21 mars 2016 : « *Aléa tornade dans le dimensionnement des noyaux durs* »
- [8] Avis IRSN n° 2017-00088 du 14 mars 2017
- [9] Avis IRSN n° 2017-00087 du 14 mars 2017
- [10] Lettre CEA DPSN/DIR/2017-227 du 29 mai 2017
- [11] Lettre Orano COR ARV HSE SUR 2017-064 du 31 mai 2017
- [12] Courrier EDF n° D305917007941 du 31 mai 2017
- [13] *US Nuclear Regulatory Commission - Regulatory guide 1.76 - Design-Basis tornado and tornado missiles for NPPS - March 2007*
- [14] *NUREG/CR-4461 : "Tornado climatology of the contiguous United States" Rev2 - February 2007*
- [16] Guide AFCEN - n° 158-2015 (2015) - RCC-CW 2015 - Règles de conception et réalisation pour le génie civil des centrales nucléaires REP
Courrier EDF n° D305917012673 du 6 septembre 2017 – « *fiche de synthèse* »
- [18] Courrier EDF n° D305917014887 du 18 octobre 2017 – « *fiche de synthèse* »
- [19] Avis n° 2018-AV-0306 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 4 mai 2018 relatif à l'identification de sujets de recherche à approfondir dans différents domaines relevant de la sûreté nucléaire et de la radioprotection
- [20] Lettre ASN CODEP-DCN-2021-007988 du 4 mars 2021 - Réacteurs nucléaires de 900 MWe d'EDF - Position de l'ASN sur la phase générique du quatrième réexamen périodique - Demandes complémentaires à la décision n° 2021-DC-0706 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 février 2021