



Éléments de synthèse du rapport IRSN N° 2023-00142 « *Etat des connaissances, des pratiques et préconisations concernant les agressions vent et neige sur les installations nucléaires de base* » établi par le groupe pluridisciplinaire d'experts

Date : 26/04/2023

Le groupe de travail « Vent et Neige » a travaillé sur les méthodes de caractérisation des aléas liés à la neige et au vent, ainsi que sur les méthodes d'étude des effets de ces aléas sur les structures et équipements.

Conformément à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire, le rapport établi par le groupe :

- *prend en compte, lorsque cela est pertinent, un état des lieux chez les exploitants des approches retenues pour la prise en compte des agressions naturelles liées à la neige et au vent dans la démonstration de sûreté des INB civiles de surface en France ;*
- *est élaboré au regard d'un besoin, in fine, d'harmoniser ces approches et de respecter les niveaux de référence préconisés par l'association WENRA¹.*

Un nombre important d'aspects techniques ont été approfondis par le groupe de travail. On peut retenir notamment les points suivants :

- **le retour d'expérience**

Les exploitants participant au groupe ont recensé le retour d'expérience issu de leurs installations en lien avec des événements dont l'initiateur est le vent ou la neige. Ce travail a permis de conforter les effets redoutés sur les installations nucléaires, en particulier la dégradation d'ouvrage ou d'équipement, la perte de l'alimentation électrique externe, la perturbation des systèmes de ventilation ou du confinement dynamique, l'isolement du site ainsi que d'autres effets indirects.

- **la place des Eurocodes dans les pratiques actuelles des exploitants et les liens entre aléas et effets sur les structures**

Les Eurocodes sont un ensemble de normes européennes régissant la conception et le calcul des ouvrages conventionnels de génie civil.

¹ La [WENRA](#) est l'association des autorités de sûreté nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest (Western European Nuclear Regulators' Association). En septembre 2014, l'association WENRA a publié une mise à jour des niveaux de référence applicables aux réacteurs existants qui introduit pour les agressions d'origine naturelle, des niveaux de référence associables à une fréquence annuelle de dépassement inférieure à 10^{-4} /an, couvrant les événements historiques pertinents. Ces niveaux d'aléas sont appelés « Niveaux d'aléas WENRA ».

Par leur large utilisation actuelle, ils constituent un repère méthodologique important dans l'état de l'art. L'approche générale et les fondements théoriques des Eurocodes ont fait l'objet de nombreux échanges entre les membres du groupe et sont tracés dans le rapport ; les déclinaisons pratiques relatives au vent et à la neige sont également présentées.

Le groupe s'est attaché à examiner les interfaces entre aléas et effets sur les structures. Il en résulte des visions globales et partagées des méthodes et des chaînes de calculs.

De ce point de vue, une compatibilité des approches a été recherchée, proposée et constitue maintenant un consensus entre les membres du groupe pour les futures installations nucléaires. En particulier, le groupe considère que les effets sur les structures des aléas pris aux niveaux de référence préconisés par l'association WENRA devraient être étudiés comme des actions accidentelles au sens des Eurocodes.

Concernant les exigences de comportement des ouvrages de génie civil, le groupe convient que l'application des Eurocodes n'est pas suffisante pour répondre aux objectifs visés par la démonstration de sûreté. Aussi, les exploitants nucléaires ont défini des exigences spécifiques et des critères associés. Le groupe a constaté que les exploitants n'ont pas tous la même terminologie pour définir des exigences répondant à des objectifs de sûreté équivalents. Une harmonisation de la définition des différentes exigences de comportement attribuées aux structures de génie civil des installations nucléaires et les critères de justification associés pour les situations qui font intervenir la neige et/ou le vent pourrait constituer un axe de réflexion à traiter dans un cadre à définir.

Enfin, il est à noter qu'une mise à jour des Eurocodes est actuellement en cours. Les travaux du groupe ont pu bénéficier du partage des projets de la nouvelle version de l'Eurocode 0 (Bases des calculs structuraux et géotechniques) et des parties 1-3 (Charges de neige) et 1-4 (Action du vent) de l'Eurocode 1 concernant les effets sur les structures. Les cartes nationales des valeurs de vent et de charge de neige de référence pourraient également évoluer dans les prochaines années afin de tenir compte des données disponibles les plus récentes, ce qui sera à prendre en compte dans l'élaboration du futur guide.

- **l'état des connaissances et des pratiques actuelles : des méthodes opérationnelles aux développements d'études et de recherche en cours**

Le groupe a recherché l'état des pratiques, des connaissances établies et opérationnelles mais aussi les études et méthodes en cours de développements et les orientations de recherches actuelles. Cet angle large du travail du groupe a permis de préconiser des méthodes opérationnelles et d'identifier les développements en cours les plus prometteurs pour améliorer la caractérisation des aléas liés à la neige ou au vent.

Par exemple, pour la caractérisation de l'aléa neige, la proposition de retenir une approche opérationnelle par majoration des valeurs de la carte de l'Eurocode fait consensus dans son principe, dans l'attente de disposer de méthodes d'estimation des extrêmes de charge de neige fondées sur des modèles climatiques globaux, couplés à des modèles régionaux et à un modèle du manteau neigeux. Ces méthodes sont déjà utilisées pour les zones de montagne mais pas encore opérationnelles pour la plaine où il s'agit de caractériser des événements neigeux très rares.

- **les effets du changement climatique**

Les travaux du groupe ont bénéficié de l'apport d'experts reconnus concernant les phénomènes météorologiques et les effets des changements climatiques sur le vent et la neige (Météo-France, INRAE,

Keraunos notamment). L'impact du changement climatique fait l'objet d'un traitement approfondi qui a permis de conclure les éléments suivants :

1°) l'impact du changement climatique sur les vents violents en France métropolitaine est incertain du fait d'une forte variabilité interannuelle des tempêtes, d'une difficulté à observer de façon fiable les extrêmes de vent et à modéliser les vitesses de vent instantanées et les rafales convectives ;

2°) les tendances observées concernant l'occurrence et la hauteur de neige sont globalement en baisse, tout comme les tendances moyennes projetées concernant en particulier les charges de neige ; le manque d'observations, particulièrement en plaine, rend cependant la robustesse de ces résultats difficile à appréhender ;

Le groupe considère que dans le cadre de la sûreté nucléaire, le fait de ne pas tenir compte d'effet du changement climatique sur les hauteurs et les charges de neige apparaît comme une démarche pragmatique et adaptée compte tenu de l'état des connaissances actuelles.

3°) que ce soit pour les vents forts, en particulier ceux liés à des phénomènes orageux, ou pour la neige en plaine, le groupe préconise une veille sur l'évolution des connaissances concernant l'impact du changement climatique.

- **Sur le niveau d'aléa WENRA pour le vent et l'étude des effets associés**

Valeur de majoration à appliquer au vent moyen cinquantennal

Le groupe préconise de définir le vent de référence WENRA à partir d'un vent moyen cinquantennal représentatif des conditions de références définies dans l'Eurocode et pondéré par un facteur de majoration multiplicatif. Différentes valeurs de majorations ont été discutées au sein du groupe et sont comprises entre 1,3 et 1,5. Un processus d'arbitrage entre ces valeurs est à prévoir dans la phase d'élaboration du guide.

Caractéristiques des projectiles

Les exploitants ont proposé deux projectiles standards à considérer dans le cadre des études d'analyse des projectiles générés par le vent : une planche de bois et une automobile. D'autres projectiles tels qu'une bille d'acier, une tôle de bardage ou une bâche ne sont pas retenus systématiquement. Un dissensus est même exprimé par quelques-uns des membres du groupe sur la démarche associée à la définition de projectiles types retenus pour représenter les effets d'une famille de projectiles, indépendamment de la présence attestée d'un projectile dans une zone pouvant impacter une cible de sûreté.

- **Sur le niveau d'aléa WENRA pour la neige et l'étude des effets associés**

Valeur de majoration à appliquer à la charge de neige cinquantennale

Le groupe préconise de définir une charge de neige de référence WENRA à partir d'une charge de neige au sol cinquantennale, pondérée par un facteur de majoration multiplicatif. Le facteur de majoration est a priori commun à l'ensemble des sites. Différentes valeurs de majorations ont été discutées au sein du groupe et sont comprises entre 2 et 4. Un processus d'arbitrage entre ces valeurs est à prévoir dans la phase d'élaboration du guide.

Effets d'accumulation associés à des chutes de neige

En complément des préconisations concernant la valeur de la majoration, l'IRSN a proposé la prise en compte des effets d'accumulations associés à des chutes de neige exceptionnelles au sens de la carte de l'annexe nationale de l'Eurocode 1-3².

Cette situation complémentaire a été proposée par l'IRSN pour rendre compte de la possibilité avérée de vent concomitant ou succédant à des épisodes de neige, s'appuyant également sur une cohérence avec des pratiques internationales identifiées dans l'Eurocode mais aussi avec des pratiques nationales pour certains projets (par exemple le cas du secteur des transports en commun). Les exploitants se positionnent contre cette proposition et certains souhaitent pouvoir recourir à des dispositions de déneigement des toitures.

Dispositions de déneigement

Une recommandation du groupe envisage le recours à des dispositions de constructions ou de maintenance pour déneiger les toitures accessibles et ainsi diminuer la charge retenue dans les études de dimensionnement des toitures ou les hauteurs de neige pouvant provoquer l'obstruction d'équipements. Les conditions de mise en œuvre et la faisabilité de telles actions nécessiteraient alors une justification au regard notamment des problématiques d'accessibilité et de cinétique du phénomène météorologique. Par ailleurs, les enjeux de sécurité pour les personnes en cas d'opération de déneigement manuel envisagé devraient être pris en compte.

Il est à noter à ce sujet un positionnement ferme d'un représentant du CSTB, soulignant qu'il lui semble irréaliste d'intégrer de telles pratiques de déneigement (humaines) sur des toitures.

Enfin d'autres sujets techniques portant sur l'état des connaissances et faisant consensus au sein du groupe méritent d'être soulignés :

- **Etat des connaissances concernant les rafales convectives** (rafales de vent apparaissant en conditions orageuses)

Les orages sont à l'origine de vents forts et brefs (quelques minutes) sur une zone restreinte (quelques kilomètres carrés) et de rafales de vent violent appelées rafales convectives. Les rafales descendantes correspondent à un type particulier de rafales convectives qui viennent s'écraser sur le sol en formant des couloirs relativement concentrés de vents violents.

Le groupe constate l'absence d'approche opérationnelle pour caractériser les rafales convectives, en particulier les rafales descendantes. Le groupe considère que les effets des rafales convectives sont en grande partie couverts par les dispositions de protections ou de vérifications retenues au titre du vent dépressionnaire et des tornades. A ce stade, le groupe propose de ne pas définir de situation de référence spécifique au phénomène de rafale convective. Néanmoins, pour les sites nucléaires situés à proximité de zones dans lesquelles des rafales convectives ont été observées, le groupe préconise de vérifier que les vitesses de vent de référence WENRA couvrent bien, en vitesses de pointe associées, les vitesses des rafales convectives maximales estimées ou observées.

Le groupe souligne l'importance de poursuivre le travail de recensement et de compréhension des spécificités des caractéristiques des rafales convectives et de leurs effets sur les installations nucléaires.

- **Mesures de vent réalisées sur les sites nucléaires**

Dans le cadre du travail du groupe, les exploitants ont listé les mesures de vent disponibles sur leurs sites. Le but de ces mesures n'est pas de caractériser précisément les périodes de vent fort mais d'obtenir des données pour évaluer les transferts atmosphériques de rejets d'effluents radioactifs gazeux en fonctionnement normal et en

² Il s'agit de considérer la situation (4) du cas B1 dans le tableau A.1 de l'annexe A de l'Eurocode 1-3.- Ces accumulations sont à évaluer en tenant compte du niveau de neige définis dans l'Eurocode 1-3 et non pas du niveau de neige WENRA.

situation accidentelle. Des mesures à pas de temps fin sont parfois réalisées mais en général, seules les mesures de vent moyen sur 10 min sont enregistrées. L'accès aux valeurs d'intensité de turbulence n'apparaît en général pas possible via les moyens de mesure placés sur site.

Des contrôles complémentaires peuvent être opérés afin de s'assurer de la qualité des données. Ceux-ci devraient également être documentés, notamment l'élimination de données « aberrantes » dans le cadre d'un tel processus de contrôle. En effet des valeurs qui pourraient sembler statistiquement aberrantes peuvent au contraire être le reflet d'évènements météorologiques extrêmes. Des échanges au cas par cas semblent nécessaires entre les exploitants et Météo-France pour clarifier la validité des mesures de vent faites sur les sites.