

Fontenay-aux-Roses, le 30 mai 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

**Avis IRSN N°** 2016-00171

**Objet :** CEA/Marcoule  
Centrale Phénix - INB n°71  
ECS - Comportement de la cheminée en cas d'agression naturelle extrême (vent extrême, tornade « noyau dur » et séisme « noyau dur »)

**Réf. :**

1. Saisine ASN CODEP-DRC-2015-018149 du 8 juillet 2015
2. Saisine ASN CODEP-DRC-2015-050309 du 16 janvier 2016
3. Décision ASN n°2015-DC-0480 du 8 janvier 2015

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande l'avis de l'IRSN sur l'analyse du comportement de la cheminée de la centrale Phénix (INB n°71) en cas de vent extrême, transmise par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) en réponse à un engagement qu'il avait pris en 2013 à l'issue de l'instruction des propositions de « noyau dur »<sup>1</sup> pour les installations du lot 1 (installations considérées prioritaires, pour lesquelles les évaluations complémentaires de sûreté (ECS) menées au titre du retour d'expérience de l'accident de Fukushima-Daiichi ont été réalisées en premier).

Par lettre citée en deuxième référence, l'ASN demande également l'avis de l'IRSN sur l'évaluation du comportement de la cheminée de la centrale Phénix pour le séisme et la tornade retenus pour le « noyau dur », transmise par le CEA en réponse à la prescription [CEA-INB71-ND06] de la décision de l'ASN citée en troisième référence.

**Adresse courrier**  
BP 17  
92262 Fontenay-aux-Roses  
Cedex France

### Contexte

La centrale Phénix abrite un réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium définitivement arrêté depuis 2010. Certains locaux et équipements de la centrale Phénix sont munis de systèmes de ventilation dont les réseaux d'extraction aboutissent dans la cheminée en béton armé de l'installation. Cette cheminée est constituée d'un radier et d'un fût tronconique d'une hauteur de 70 m, d'un diamètre intérieur de 6 m à la base et de 3 m au sommet, et d'une épaisseur constante de 20 cm. Le CEA attribue à cette cheminée, conformément à la prescription [CEA-INB71-ND01] de la décision citée en troisième référence, une exigence de stabilité en cas d'agression externe afin de

**Siège social**  
31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Standard +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

---

<sup>1</sup> Noyau dur : *dispositions matérielles et organisationnelles robustes visant, pour les situations extrêmes étudiées dans le cadre des ECS, à prévenir un accident ou en limiter la progression, à limiter les rejets radioactifs massifs ou à permettre à l'exploitant d'assurer les missions qui lui incombent dans la gestion d'une crise.*

garantir l'absence d'agression des systèmes, structures et composants (SSC) essentiels identifiés dans l'ECS de la centrale Phénix.

Il est à noter que ces systèmes de ventilation et la cheminée resteront nécessaires dans le cadre de la réalisation des futures opérations de démantèlement.

De l'évaluation des éléments présentés dans le dossier transmis par le CEA et des informations complémentaires recueillies au cours de l'instruction, l'IRSN retient les principales conclusions développées ci-après.

### **1. Comportement de la cheminée au vent extrême**

Les hypothèses considérées par le CEA en application de l'Eurocode 1 pour définir les caractéristiques du vent extrême (valeur de base de la vitesse du vent de référence, catégorie de rugosité du terrain, coefficient d'orographie), ainsi que le profil de vitesse du vent déterminé sur toute la hauteur de la cheminée, n'appellent pas de remarque de l'IRSN.

L'application du facteur de force déterminé selon l'Eurocode 1 au profil de vitesse retenu permet au CEA de définir la distribution linéique de la force du vent sur la cheminée. Les actions mécaniques sur la cheminée sont alors évaluées dans plusieurs sections radiales réparties uniformément le long de l'axe principal de la structure. La marge par rapport au vent de référence est obtenue en augmentant progressivement la valeur de base de la vitesse du vent jusqu'à ce que les sollicitations correspondantes de la cheminée atteignent la capacité résistante de l'une des sections radiales étudiées. Les risques de renversement de la cheminée, de compression excessive du sol et de déformation excessive des aciers du radier de la cheminée sont également examinés.

Le CEA conclut ainsi que la stabilité de la cheminée est assurée pour une valeur de base de la vitesse du vent allant jusqu'à 2,65 fois celle du vent de référence (24 m/s) définie dans l'Eurocode 1 pour la région d'implantation de la centrale Phénix (département du Gard, classé en zone 2).

Au cours de l'instruction, l'IRSN a indiqué au CEA que son étude avait été réalisée sans tenir compte de l'ouverture située à la base de la cheminée, ni des effets de second ordre. Après avoir tenu compte de ces éléments, le CEA a révisé ses conclusions en précisant que la stabilité de la cheminée resterait assurée pour une valeur de base de la vitesse du vent égale à environ 2,3 fois celle du vent de référence définie pour le site. **La valeur de la marge obtenue par le CEA dans son étude mise à jour n'appelle pas de remarque de l'IRSN.**

### **2. Stabilité de la cheminée au séisme de niveau « noyau dur »**

Le niveau retenu par le CEA pour le séisme « noyau dur » (SND) correspond à l'enveloppe du paléoséisme et d'un séisme conduisant à des accélérations 1,5 fois supérieures à celles du séisme majoré de sécurité (SMS) définis pour le site de Marcoule. Aucun effet de site n'est retenu par ailleurs. **L'ASN a fait part au CEA, en janvier 2016, de son accord relatif au séisme « noyau dur » ainsi défini pour la centrale Phénix.**

Le CEA présente une analyse de la stabilité de la cheminée à l'égard du séisme « noyau dur » selon la méthode analytique dite de « poussée progressive ». Sur la base de cette méthode, le CEA évalue que

les déplacements maximaux en tête de cheminée sont faibles pour les deux premiers modes propres de la structure.

Le CEA vérifie par ailleurs la résistance des sections radiales de la cheminée selon la même démarche que celle utilisée pour l'étude de robustesse de la cheminée au vent extrême (cf. § 1) en tenant compte des effets du second ordre dus à l'excentrement des charges de poids sous l'effet des déplacements de la cheminée.

Le CEA conclut que la stabilité de la cheminée est assurée pour un séisme égal à 1,5 fois le paléoséisme et pour un séisme supérieur à 1,5 fois le séisme majoré de sécurité (SMS) retenus pour le site. En outre, le CEA justifie la stabilité du radier au renversement, la capacité portante du sol et la déformation des aciers du radier en vérifiant que le moment à la base de la cheminée reste inférieur à celui calculé pour le vent extrême.

L'IRSN souligne que l'utilisation de la méthode en poussée progressive suppose un comportement monomodal de la structure étudiée. Bien que cette hypothèse n'ait pas été justifiée par le CEA, celui-ci a démontré que le cumul quadratique des efforts résultants des deux modes de déformation principaux de la structure est inférieur aux sollicitations maximales auxquelles la cheminée pourrait résister. **Aussi, sur la base des éléments présentés par le CEA, l'IRSN considère que la stabilité de la cheminée est acquise pour le séisme de niveau « noyau dur » défini pour la centrale Phénix.**

### **3. Stabilité de la cheminée à la tornade de niveau « noyau dur »**

La tornade « noyau dur » considérée dans le dossier du CEA est une tornade de catégorie EF3 sur l'échelle de Fujita améliorée. Les effets de la tornade étudiés par l'exploitant sont, d'une part les efforts de pression dynamique dus à la vitesse du vent, d'autre part les effets de l'impact de projectiles induits par la tornade (i.e. projectile de type « automobile » pour les hauteurs inférieures à 3 m au-dessus du sol et de type « tube métallique » pour les hauteurs supérieures). **À cet égard, l'IRSN souligne que le niveau d'aléa retenu pour les tornades, ainsi que les caractéristiques des projectiles qui lui sont associés, font actuellement l'objet d'une instruction dans un cadre générique. Aussi, les conclusions qui suivent devront être réexaminées à l'issue de cette instruction.**

Pour les effets du vent associés à la tornade, le CEA démontre que la pression dynamique de pointe sur toute la hauteur de la cheminée est inférieure à la pression maximale admissible déterminée lors de l'étude de robustesse de la cheminée au vent extrême. Le CEA vérifie en outre que le moment dû à l'action du vent de la tornade reste inférieur à celui maximal calculé dans l'étude de comportement de la cheminée au vent extrême.

Par ailleurs, le CEA évalue, à l'aide de formules empiriques, les risques de perforation de la cheminée par le projectile de type « tube métallique » et vérifie, pour le projectile de type « automobile », que l'effort statique équivalent ponctuel est couvert par la résultante des efforts linéiques maximaux calculés dans l'étude de robustesse de la cheminée au vent extrême (cf. § 1). Pour le missile de type « tube métallique », le CEA vérifie que la rotation de la section de la cheminée la moins résistante reste inférieure au critère défini au regard du respect de l'exigence de stabilité de la cheminée.

Enfin, le CEA s'assure que le cumul des effets du vent dû à la tornade et des effets des projectiles est couvert par les effets maximaux calculés dans l'étude de robustesse au vent extrême. Il en conclut que la stabilité de la cheminée en cas de tornade de catégorie EF3 est assurée.

**L'IRSN considère que l'étude du comportement de la cheminée en cas de tornade est globalement satisfaisante.** L'IRSN relève toutefois que la modélisation mise en œuvre par le CEA pour analyser l'impact du tube métallique sur la structure ne prend en considération que l'énergie de déformation de la structure, ce qui correspond à une hypothèse dite de « choc mou » (conservation de la quantité de mouvement). L'IRSN estime que cette hypothèse n'est pas conservatrice dans la mesure où elle ne considère pas la conservation de l'énergie cinétique entre le projectile et la structure (hypothèse dite du « choc élastique »). **Néanmoins, sur la base de sa propre évaluation, l'IRSN estime que, dans le cas de la cheminée de la centrale Phénix, les conclusions du CEA sur la stabilité de la cheminée en cas de tornade ne seraient pas remises en cause en considérant l'hypothèse du « choc élastique ».**

**Aussi, l'IRSN considère que la démonstration de l'exploitant est acceptable et permet de justifier la stabilité de la cheminée sous les effets de la tornade et des projectiles associés tels que définis dans le dossier du CEA.**

### Conclusion

L'IRSN considère que l'analyse de robustesse de la cheminée de la centrale Phénix au vent extrême est satisfaisante. Elle montre que la cheminée resterait stable pour des charges de vent correspondant à celles associées à une vitesse de base du vent d'environ 2,3 fois celle du vent de référence définie dans l'Eurocode 1 pour la région d'implantation de la centrale Phénix.

Par ailleurs, les études présentées par le CEA permettent de considérer que la stabilité de la cheminée est acquise au séisme de niveau « noyau dur » (SND) défini pour la centrale Phénix.

Enfin, l'IRSN partage la conclusion du CEA quant à la stabilité de la cheminée au niveau de tornade retenu dans le dossier présenté (tornade de catégorie EF3). L'IRSN rappelle toutefois que les niveaux d'aléa à retenir pour l'agression « tornade » (ainsi que les effets induits qui y sont associés) font actuellement l'objet d'une instruction de l'IRSN dans un cadre générique. Aussi, les conclusions formulées par le CEA à l'égard de la stabilité de la cheminée de la centrale Phénix en cas de tornade devront être réexaminées à l'issue de cette instruction.

Pour le Directeur général et par délégation,  
Jean-Michel FRISON  
Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté