

Fontenay-aux-Roses, le 10 mars 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

**Avis IRSN N° 2016-00076**

**Objet :** Réacteurs électronucléaires - EDF

Déclaration de la modification PNPP i666 « Diesel d'Ultime Secours – Phase Génie Civil »

CNPE de Blayais, Bugey, Cattenom 1/4, Civaux, Chinon, Chooz, Cruas, Dampierre 3/4, Fessenheim, Flamanville, Golfech, Gravelines 1/2, Paluel, Penly, Nogent, Saint Alban et Tricastin 3/4

**Réf. :** Lettre ASN CODEP-DCN-2016-001646 du 14 janvier 2016

Dans le cadre des Évaluations complémentaires de sûreté (ECS) post-Fukushima, l'ASN a prescrit à EDF la mise en œuvre d'un moyen d'alimentation électrique supplémentaire permettant notamment d'alimenter, en cas de perte des autres alimentations électriques externes et internes, les systèmes et composants appartenant au noyau dur permettant de faire face aux situations extrêmes étudiées dans le cadre des ECS.

En réponse à cette prescription, EDF a déclaré à l'ASN la modification PNPP i666 relative au « Diesel d'Ultime Secours – Phase génie civil », applicable pour les réacteurs des CNPE de Blayais, Bugey, Civaux, Chinon, Chooz, Cruas, Fessenheim, Flamanville, Golfech, Paluel, Penly, Nogent, Saint Alban, les réacteurs n°1 et 4 du CNPE de Cattenom, les réacteurs n°3 et 4 des CNPE de Dampierre et de Tricastin et les réacteurs n°1 et 2 du CNPE de Gravelines.

Par la lettre citée en référence, l'ASN demande l'avis et les observations de l'IRSN sur l'acceptabilité au plan de la sûreté de la modification proposée par EDF. En particulier, l'ASN souhaite connaître l'avis de l'IRSN sur les points suivants :

- les principes de conception des bâtiments « Diesel d'ultime secours » ou DUS ;
- les objectifs fixés par EDF pour la préparation des sols et les moyens associés ;
- les hypothèses et méthode de dimensionnement de ces ouvrages au regard du risque sismique (SND), compte tenu notamment des conditions de site et, pour les cas concernés, du système d'appuis parasismiques ;
- le dimensionnement des plots de supportage ;
- les hypothèses et méthode d'évaluation des spectres transférés (spectres de planchers).

**Adresse courrier**

BP 17  
92262 Fontenay-aux-Roses  
Cedex France

**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

En réponse à cette demande, les conclusions de l'analyse menée par l'IRSN sur ces différents points sont présentées à la suite d'un bref rappel du contexte dans lequel l'instruction a été menée.

### Rappel du contexte de l'instruction

En août 2015, EDF a transmis une note de présentation de la démarche de réalisation des appuis parasismiques des bâtiments DUS. À la suite d'un premier examen par l'IRSN de cette note, l'ASN a demandé à EDF de transmettre les éléments de justifications nécessaires à une analyse technique plus détaillée.

En réponse, EDF a transmis un dossier technique présentant les hypothèses et les méthodes appliquées pour la conception et le dimensionnement des ouvrages de génie civil des bâtiments DUS sur appuis parasismiques, ainsi que les plans de coffrage et de ferrailage disponibles.

Ce dossier ne portant que sur les ouvrages sur appuis parasismiques, les ouvrages fondés sur radier sont donc exclus de la présente instruction de l'IRSN.

EDF a présenté ses études lors de la réunion technique du 20 octobre 2015. À la suite de cette réunion, l'IRSN a transmis à EDF un projet de fiche technique présentant les conclusions de son analyse du dossier. Une réunion technique d'échange a eu lieu le 11 janvier 2016 au cours de laquelle EDF a présenté certains éléments de réponse. Par la suite, EDF a également transmis des compléments de démonstration.

### Principes de conception des bâtiments DUS

La démarche générale retenue par EDF pour répondre aux contraintes d'installation des bâtiments DUS sur l'ensemble des 19 sites s'appuie sur les considérations suivantes :

- la définition de spectres de sol enveloppes des spectres proposés par EDF pour la définition des séismes noyau dur (SND) des 19 sites concernés ;
- la définition de conceptions harmonisées, en fonction principalement du niveau sismique, des contraintes d'implantation et d'encombrement des sites ;
- la définition de conditions enveloppes visant à réduire le nombre de configurations étudiées dans le cadre de la conception.

EDF a retenu deux conceptions générales de bâtiments DUS de dimensions générales 12 m par 24 m par 20 m de hauteur environ, avec :

- une conception sur radier général pour 12 tranches REP situées sur les cinq sites pour lesquels le spectre de sol noyau dur est couvert par un spectre simplifié calé à 0,25 g ;
- une conception sur appuis parasismiques pour les 46 autres tranches REP situées sur les 14 sites pour lesquels le spectre de sol noyau dur est couvert par un spectre simplifié calé à 0,40 g.

L'IRSN considère que la conception d'ensemble retenue par EDF, mettant en œuvre des bâtiments élancés (hauteur de l'ordre du double de l'empattement), compte tenu du manque de place sur les sites, ne constitue pas une conception robuste, notamment à l'égard du séisme.

L'IRSN souligne que, dans l'attente de la validation des spectres de sol des SND de chaque site, le caractère enveloppe des spectres retenus par EDF pour les 19 sites ne peut pas être garanti. Ceci fait l'objet de l'observation n°1 formulée en annexe.

#### **Sol de fondation des bâtiments abritant les DUS**

EDF a réalisé des reconnaissances de sol et a présenté une synthèse des mesures réalisées sur les 30 premiers mètres de profondeur.

Au cours de l'instruction, EDF a indiqué que, pour certains sites, le sol de fondation des bâtiments DUS fera l'objet d'un traitement particulier et a précisé le type de technique envisagé pour améliorer, le cas échéant, la qualité du sol en place.

**Sur le principe, l'IRSN n'a pas de remarques sur les techniques d'amélioration et de renforcement de sol décrites par EDF. Toutefois, EDF n'a pas présenté d'éléments permettant d'apprécier l'adéquation entre les techniques envisagées et les conditions de sol rencontrées sur chaque site.**

#### **Caractéristiques des appuis parasismiques et dimensionnement des plots de supportage**

Les appuis parasismiques retenus par EDF sont de conception similaire à ceux qui ont été mis en œuvre sur les projets RJH du CEA et ITER d'ITER Organisation. Cependant, EDF a choisi de doubler le nombre de couches d'élastomère et a retenu une conception telle que les appuis peuvent être mis en traction. Ceci conduit à une conception spécifique du système de fixation au génie civil qui intègre par ailleurs l'exigence de remplaçabilité des appuis.

Toutefois, le processus d'étude suivi par EDF n'a pas bénéficié du retour d'expérience de dimensionnement acquis sur les projets ayant mis en œuvre des appuis parasismiques similaires, tels que les projets RJH et ITER.

Ainsi, pour les bâtiments DUS, la tendance est la même que celle constatée lors des études de pré-dimensionnement du RJH : les raideurs verticales estimées par les formules simplifiées issues des normes en vigueur sous-estiment les valeurs de raideurs verticales des appuis d'un facteur 1,5 environ.

Au cours de l'instruction, EDF a complété sa démarche en définissant de nouvelles caractéristiques mécaniques de raideur et d'amortissement tenant compte des résultats d'essais disponibles, en particulier pour ce qui concerne le comportement vertical des appuis. La prise en compte et l'analyse de l'influence de ces nouvelles caractéristiques sont prévues par EDF dans le cadre de l'actualisation de ses études, annoncée sous quatre mois.

**L'IRSN estime que la prise en compte de caractéristiques de rigidité et d'amortissement des appareils d'appui cohérentes avec les résultats d'essais est nécessaire car elles ont une influence sur les mouvements sismiques transférés. Ceci est pris en compte par la recommandation n°1 formulée en annexe.**

Par ailleurs, l'IRSN considère que les plots en béton armé, qui ont un rôle essentiel dans le système d'isolation parasismique, sont de conception robuste. L'IRSN estime que leur dimensionnement est acceptable.

### Hypothèses considérées pour le dimensionnement des bâtiments abritant les DUS

En l'absence de la connaissance détaillée des caractéristiques des couches de sol constituant l'assise des bâtiments DUS, EDF a réalisé les études d'avant-projet et de dimensionnement en considérant le sol de fondation comme homogène. Afin d'encadrer les valeurs des caractéristiques qui pourraient être rencontrées sur les différents sites, EDF a choisi de retenir les caractéristiques correspondant aux trois types de sols proposés par les EUR (European Utility Requirements for LWR nuclear power plants) classifiés en « sol mou SA », « sol moyen MC » et « sol dur HF ».

L'IRSN considère que la méthodologie suivie par EDF pour évaluer les caractéristiques de l'interaction sol-structure, en particulier l'hypothèse de sol homogène, le choix de valeurs moyennes forfaitaires et les facteurs de pondération appliqués autour de ces valeurs moyennes pour couvrir l'ensemble des configurations de stratigraphies et de caractéristiques des sols de fondation des 46 bâtiments DUS à construire sur les 14 sites concernés, n'est pas satisfaisante.

Pour l'IRSN, le comportement du bâtiment reposant sur un système d'isolation parasismique peut être influencé par le comportement du sol de fondation, voire dépendre de couplages dynamiques entre les deux. Ces aspects n'ont pas été étudiés par EDF et, en l'absence d'études spécifiques considérant les caractéristiques réelles des sols de fondation des 46 bâtiments à construire, les simplifications retenues par EDF ne conduisent pas nécessairement à des résultats enveloppes.

Au cours de l'instruction, EDF a réalisé et transmis une étude pour le site de Gravelines, tenant compte de la stratigraphie particulière à ce site. EDF a également apporté des éléments de connaissance des caractéristiques des différentes couches du sol de fondation des différents bâtiments DUS conçus sur appuis parasismiques, y compris en cas de traitement des sols visant à améliorer leurs caractéristiques.

Cependant, EDF n'a pas jugé opportun d'intégrer à ses études les variations de caractéristiques de sol selon la profondeur, déduites des stratigraphies, estimant que l'hypothèse simplifiée d'un sol homogène est plus représentative et plus pénalisante. Pour l'IRSN, il ne s'agit pas de la démarche habituelle de dimensionnement, où la prise en compte de la stratigraphie est nécessaire pour établir le caractère enveloppe des spectres transférés.

**L'IRSN estime que la prise en compte de la stratigraphie a une influence sur les résultats d'études, en particulier sur les spectres transférés. À cet égard, EDF doit prendre en compte ces éléments pour déterminer les spectres transférés par les bâtiments DUS, utilisés par la suite pour le dimensionnement des équipements. Ceci est pris en compte par la recommandation n°1 formulée en annexe.**

### Couplages entre le système d'isolation parasismique et l'interaction sol-structure

L'examen des résultats des études présentées par EDF montre des effets potentiels de couplage entre le système d'isolation parasismique et le sol, notamment pour les bâtiments DUS implantés sur des sols non rocheux (la majorité des cas). Ces phénomènes complexes nécessitent une attention particulière. En effet, compte tenu du retour d'expérience du dimensionnement principalement disponible pour des bâtiments sur appuis parasismiques fondés sur du rocher, cette problématique du couplage est nouvelle et particulière du fait de la variabilité des caractéristiques des sols des 14 sites concernés. Aussi, le dossier présenté par EDF conduit aux constats suivants :

- l'hétérogénéité du sol de fondation n'est pas prise en compte pour la détermination de l'interaction sol-structure ;
- or, en fonction des caractéristiques du sol et de celles du système d'isolation parasismique, des couplages peuvent apparaître entre les mouvements verticaux et les mouvements de balancement de l'ouvrage, avec une intensification des mouvements de balancement liée aux excentrement de masses en plan et en élévation ;
- ainsi, les couplages négligés par EDF rendent possible l'amplification de mouvements induits aux différents niveaux du bâtiment, avec une influence directe sur les spectres transférés.

EDF n'a pas apporté la démonstration de la maîtrise des risques de couplage des mouvements dynamiques induits par l'interaction sol-structure et le comportement du système d'isolation parasismique. L'IRSN estime que la connaissance historique d'EDF de la nature très variée des sols de fondation rencontrés sur les 14 sites des REP, et a fortiori au droit des 46 bâtiments DUS à construire en surface sur les sols existants, doit conduire à la définition et à la prise en compte de données adaptées (stratigraphie et caractéristiques mécaniques associées), précisément pour apporter cette démonstration.

**Ces couplages peuvent ne pas jouer un rôle majeur pour les structures principales de génie civil.** L'IRSN estime néanmoins que les amplifications qu'induisent ces couplages peuvent avoir une influence forte sur l'analyse du comportement sismique des structures « secondaires » dont les fréquences propres peuvent elles-aussi être couplées, telles que les structures métalliques situées en partie haute des bâtiments DUS ou les équipements (spectres transférés). Aussi, pour l'IRSN, l'existence de phénomènes d'amplification du comportement vertical de certains planchers n'est pas exclue a priori, en fonction des couplages possibles.

Dans ce cadre, la prise en compte des couplages est nécessaire pour établir les spectres transférés utilisés pour le dimensionnement des SSCs du noyau dur.

### Spectres transférés

Sur la base de l'analyse présentée ci-dessus (effets de l'hétérogénéité du sol, des caractéristiques réelles des appuis parasismiques et du couplage entre l'interaction sol-structure et le système d'isolation parasismique), l'IRSN estime que les spectres transférés issus du dossier de dimensionnement des ouvrages de génie civil peuvent présenter des incertitudes pouvant conduire à des sous-estimations des amplifications des spectres horizontaux et des spectres verticaux.

L'IRSN souligne qu'EDF retient des provisions significatives pour définir les spectres horizontaux de dimensionnement des équipements. Pour les spectres verticaux, les provisions sont plus réduites. EDF propose néanmoins de compléter sa démonstration en actualisant ses études sur la base d'hypothèses complémentaires simplifiées qu'il juge mieux adaptées et suffisantes.

La démarche proposée par EDF visant à apporter des compléments d'études prenant pour hypothèse des valeurs de caractéristiques du sol de fondation homogènes supplémentaires et des caractéristiques des appuis parasismiques cohérentes avec les résultats d'essais, ainsi que les variations attendues de ces caractéristiques, peut conduire in fine à un dimensionnement satisfaisant reposant sur la base de l'enveloppe de l'ensemble des études paramétriques, en particulier pour le génie civil.

Toutefois, l'IRSN considère que les phénomènes dont il faut assurer la maîtrise sont complexes, et les premiers éléments apportés par EDF au cours de l'instruction montrent la nécessité d'une certaine prudence en regard de la sensibilité des résultats en particulier pour les spectres transférés.

La mise en œuvre du noyau dur requiert une conception robuste des SSC du noyau dur, fondée sur des méthodes de dimensionnement éprouvées pour garantir leur fonctionnalité en situations extrêmes.

**Dans ce cadre, le caractère enveloppe des spectres transférés de dimensionnement des matériels reste à démontrer. Il conviendra par conséquent qu'EDF lève les réserves formulées par l'IRSN, avant la mise en service des diesels d'ultime secours. Ceci fait l'objet de la recommandation n° 1 formulée en annexe.**

### Conclusion

En conclusion de son évaluation de la conception des bâtiments DUS sur appuis parasismiques, l'IRSN souligne que la prise en compte de caractéristiques de sol déduites de la stratigraphie de chaque site et de caractéristiques réalistes des appareils d'appui parasismiques est nécessaire, car elles ont une influence notable sur les résultats des études. Au même titre, les couplages entre le comportement des appuis parasismiques et le sol doivent être considérés.

À cet égard, EDF propose des compléments d'études selon sa démarche initiale qui peuvent conduire in fine à un dimensionnement satisfaisant pour le génie civil du bâtiment DUS. En revanche, l'IRSN considère que le caractère enveloppe des spectres transférés de dimensionnement des matériels reste à démontrer compte tenu des phénomènes complexes dont il faut assurer la maîtrise.

La mise en œuvre du noyau dur nécessitant une conception robuste des diesels d'ultime secours et des systèmes associés, l'IRSN estime que des études complémentaires doivent être menées afin d'établir le caractère enveloppe des spectres transférés de dimensionnement des matériels.

**En conséquence, l'IRSN estime acceptable, du point de vue de la sûreté, la modification PNPP i666 proposée par EDF, sous réserve qu'EDF apporte avant la mise en service des diesels d'ultime secours les compléments demandés dans la recommandation formulée en annexe.**

Pour le Directeur général, par ordre,  
Frédérique PICHEREAU  
Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe à l'avis IRSN/2016-00076 du 10 mars 2016

**Recommandation et observation**

**Recommandation n° 1 :**

Pour justifier le caractère enveloppe des spectres transférés utilisés pour le dimensionnement des SSCs du noyau dur installés dans les bâtiments DUS comportant un système d'isolation parasismique, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF :

- prenne en compte les caractéristiques des sols correspondant aux stratigraphies réalisées sur les différents sites pour l'évaluation des effets de l'interaction sol-structure ;
- prenne en compte les caractéristiques actualisées des appuis parasismiques ;
- étudie des variations pertinentes de ces données d'entrée et analyse les effets des couplages mécaniques éventuels entre le comportement du sol et des appuis parasismiques.

**Observation n° 1 :**

L'IRSN considère qu'EDF devrait confirmer le caractère enveloppe du dimensionnement des bâtiments DUS une fois les spectres de sol des SND validés pour chaque site.