

Monsieur le Directeur de la Direction des Centrales Nucléaires

Fontenay-aux-Roses, le 14 avril 2026

AVIS D'EXPERTISE N° 2026-00036 DU 14 AVRIL 2026

Objet : Réacteurs électronucléaires EDF – Méthode de définition du périmètre de réévaluation sismique - Application au site de Cruas, suite au REX du séisme du Teil

Référence : Saisine CODEP-DCN-2024-042445 du 23 octobre 2024.

À la suite du séisme du Teil survenu le 11 novembre 2019, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé à EDF de déterminer si cet événement devait conduire à revoir les niveaux d'aléa pris en compte dans la démonstration de sûreté de la centrale nucléaire de Cruas.

À l'issue des échanges techniques menés avec l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et pour répondre à des demandes afférentes formulées par l'ASN, EDF a défini un nouveau SMS¹ dit « SMS-D2 ». Le spectre de sol SMS-D2 étant supérieur au spectre SMS en vigueur, EDF doit évaluer si des renforcements des systèmes, structures et composants (SSC) sont nécessaires. À cet égard, EDF a élaboré une méthode, fondée sur l'application successive de filtres, afin de définir les planchers de l'installation sur lesquels les SSC qui y sont installés doivent faire l'objet d'une réévaluation sismique. Ces SSC sont alors réévalués selon la démarche usuelle mise en œuvre par EDF, dite DÉRÉSMA².

Dans la démarche DÉRÉSMA, les matériels ayant une exigence sismique ou pouvant être agresseurs des matériels classés sismiques sont tout d'abord classés en niveau modéré ou élevé selon la fonction à laquelle participent ces matériels (approche dite fonctionnelle), et en niveau modéré, intermédiaire ou élevé selon leur comportement sous séisme (approche dite structurelle). Les matériels de niveau hiérarchique élevé sont d'une part ceux qui présentent un niveau structurel élevé, d'autre part ceux qui présentent à la fois un niveau structurel intermédiaire et un niveau fonctionnel élevé. Les autres matériels sont de niveau hiérarchique modéré. La justification des matériels s'appuie ensuite sur la valorisation des marges prises en compte lors du dimensionnement initial des SSC pour les matériels de niveau hiérarchique élevé, et sur des inspections sismiques pour les matériels de niveau hiérarchique modéré.

Par la lettre citée en référence, l'ASN sollicite l'avis de l'IRSN sur les données d'entrée de la méthode de détermination du périmètre de réévaluation sismique établie par EDF et appliquée pour la centrale nucléaire de Cruas à la suite du séisme du Teil.

¹ SMS : Le séisme majoré de sécurité est défini en ajoutant conventionnellement 0,5 à la magnitude du séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV). Le SMHV correspond au séisme le plus pénalisant susceptible de se produire sur une durée d'environ 1000 ans, évalué sur la base des séismes historiquement connus.

² DÉRÉSMA : DÉmarche de RÉévaluation Sismique des MATériels.

Plus précisément, l'ASN demande à l'IRSN d'expertiser les sujets suivants :

- la pertinence des spectres transférés³ réévalués ;
- l'acceptabilité de l'ensemble des filtres successifs permettant de restreindre le périmètre de la réévaluation sismique.

Sur ce dernier point, l'ASN demande à l'IRSN d'identifier les matériels qui devraient faire l'objet de vérifications complémentaires, compte tenu par exemple de leur sensibilité importante à la sollicitation sismique ou de leur rôle particulièrement important pour la sûreté.

Au 1^{er} janvier 2025, l'ASN et l'IRSN sont devenus l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR). Le présent avis d'expertise de la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR vient en réponse à la lettre citée en référence.

De l'évaluation du dossier transmis, tenant compte des nombreux compléments apportés par EDF au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté retient les principaux points développés ci-après.

1. DÉFINITION DES SPECTRES TRANSFÉRÉS

L'îlot nucléaire (IN) du site de Cruas est construit sur des appuis parasismiques permettant de dissocier le mouvement du sol de celui de la superstructure dans la direction horizontale et de limiter les sollicitations sismiques horizontales transmises aux superstructures.

Lors de la conception du site de Cruas, les bâtiments et équipements de l'IN devant résister au séisme ont été dimensionnés à partir du spectre de sol SDD⁴ CPY⁵ du fait de la volonté d'EDF de « paliérisation » de la conception. Les spectres de plancher correspondant au SDD CPY ont été établis sur la base d'un modèle d'ensemble simplifié de l'IN, constitué de modèles filaires de type « brochette⁶ » pour les différents bâtiments.

Parallèlement aux études de dimensionnement au SDD CPY, des vérifications complémentaires ont été faites lors de la phase de construction à partir du spectre de sol SDD Cruas⁷, afin de démontrer la capacité des appuis parasismiques à remplir leur fonction d'atténuation des accélérations dans la direction horizontale.

Les spectres de plancher associés au SMS-D2 ont été déterminés à partir d'une modélisation tridimensionnelle des bâtiments de l'IN, afin de mieux appréhender certains effets physiques, tels que les phénomènes de torsion et de flexion d'ensemble des bâtiments.

Lors de l'établissement du recueil des spectres de plancher associés au SMS-D2, les calculs ont été réalisés par EDF sans prise en compte de l'amplification locale verticale du signal sismique au centre des planchers, en considérant des points de calcul uniquement à l'intersection avec les voiles.

Pour EDF, les planchers ont des modes propres hors plan supérieurs à 20 Hz et sont considérés comme rigides, et la modélisation retenue est donc suffisante.

La Direction de l'expertise en sûreté considère *a contrario* que la justification de la tenue des SCC et des ancrages qui leur sont associés doit être apportée en considérant les zones d'amplification potentielle des planchers sur lesquels ils sont installés.

³ Les spectres transférés, aussi appelés spectres de plancher, représentent le mouvement sismique appliqué à un équipement à travers la réponse de la structure. Pour un bâtiment donné, ces spectres transférés sont définis niveau par niveau en tant qu'enveloppe des mouvements sismiques transférés en plusieurs points.

⁴ SDD : Il s'agit du niveau sismique (enveloppe du SMS) pour lequel EDF a dimensionné les bâtiments et équipements. Le SDD est une notion « palier ».

⁵ Le palier CPY regroupe les 28 réacteurs nucléaires du palier 900 MWe en exploitation hormis ceux de la centrale nucléaire du Bugey.

⁶ Dans un modèle filaire de type « brochette », un bâtiment est représenté par une ou plusieurs poutres équivalentes en flexion. Les planchers et les voiles sont représentés par leur masse concentrée à différents niveaux des poutres. Les modèles filaires de type « brochette » ne permettent d'appréhender ni les phénomènes de torsion du bâtiment, ni les amplifications des mouvements des voiles et des planchers liées à leur souplesse.

⁷ Le spectre de sol SDD Cruas avec une accélération de 0,3 g à l'asymptote couvre le spectre de sol SDD CPY du palier CPY dont l'accélération à l'asymptote est calée à 0,2 g.

À l'issue de l'expertise, EDF a transmis les conclusions des études montrant la robustesse au séisme noyau dur (SND⁸) de quelques SSC représentatifs des matériels présents au centre des planchers dans des bâtiments électriques qui tiennent compte des amplifications de plancher. La Direction de l'expertise en sûreté estime que les justifications complémentaires apportées par EDF sont satisfaisantes et permettent *in fine* de démontrer la robustesse au SMS-D2 des SSC étudiés.

La Direction de l'expertise en sûreté attire enfin l'attention sur l'importance de vérifier la cohérence entre le niveau d'endommagement évalué des planchers et les hypothèses prises en compte pour la vérification du supportage des équipements.

2. ACCEPTABILITÉ DES FILTRES

EDF a fondé sa méthode de définition du périmètre de la réévaluation sismique sur la mise en œuvre de quatre filtres successifs, qui permettent de restreindre le nombre de planchers pour lesquels la tenue au SMS-D2 des SSC qui y sont installés doit être réévaluée. À l'issue de l'application de ces filtres, EDF retient un seul plancher sur plus de 70 planchers considérés dans l'application de la démarche.

2.1. FILTRE 1

Le filtre 1 consiste à comparer les spectres de plancher réévalués au SMS-D2 à l'enveloppe des spectres de plancher SDD CPY et SDD Cruas dans les directions horizontales et verticale. S'ils sont couverts par cette enveloppe, les planchers correspondants sont dédouanés et ne rentrent donc pas dans le périmètre de la réévaluation sismique. Les SSC présents sur ces planchers sont alors justifiés au niveau réévalué. **Pour la Direction de l'expertise en sûreté, la mise en œuvre du filtre 1 est acceptable. Il convient toutefois de souligner que l'application de ce filtre n'a conduit à aucun dédouanement.**

2.2. FILTRE 2

Le filtre 2 consiste à ne retenir dans le périmètre de la réévaluation sismique que les planchers des bâtiments pour lesquels les spectres de plancher horizontaux associés au SMS-D2 dépassent l'enveloppe des spectres de plancher horizontaux associés aux SDD CPY et SDD Cruas. En conséquence, les planchers pour lesquels des dépassements de spectres sont limités à la seule direction verticale ne rentrent pas dans le périmètre de la réévaluation sismique. L'utilisation du filtre 2 permet donc à EDF d'écarter des planchers malgré des dépassements significatifs d'accélération dans la seule direction verticale au SMS-D2 par rapport aux accélérations de référence (SDD CPY et SDD Cruas).

EDF a présenté des arguments principalement qualitatifs visant à démontrer l'absence de nocivité de la composante verticale sur le comportement des différents SSC. Les arguments majeurs mis en avant par EDF sont les suivants.

Pour certaines classes d'équipements, EDF valorise le REX post-sismique pour justifier l'absence de prise en compte du spectre vertical, les équipements concernés étant rigides dans cette direction. Or, ces équipements peuvent relever d'un niveau hiérarchique modéré ou d'un niveau hiérarchique élevé selon la démarche DÉRÉSMA et la démarche DÉRÉSMA spécifie que la méthode de valorisation du REX ne peut être appliquée qu'aux équipements de niveau hiérarchique modéré.

La Direction de l'expertise en sûreté estime que l'application du filtre 2 revient alors à exclure artificiellement du périmètre de réévaluation des équipements de niveau hiérarchique élevé devant être justifiés en application de la démarche DÉRÉSMA.

Par ailleurs, EDF invoque l'existence de marges dans les directions horizontales pour compenser des dépassements très importants dans la direction verticale et considère que la comparaison des cumuls

⁸ SND : à la suite de l'accident survenu en mars 2011 au Japon sur la centrale nucléaire de Fukushima Dai-ichi, l'ASN a prescrit à EDF de mettre en œuvre des mesures de renforcement de la sûreté de ses sites électronucléaires, notamment par la mise en œuvre d'un « noyau dur » de dispositions matérielles et organisationnelles, afin de faire face à des situations extrêmes, consécutives à des situations de pertes de refroidissement induites par l'occurrence d'un séisme d'un niveau très élevé.

quadratiques⁹ des accélérations spectrales au SMS-D2 d'une part, et au SDD CPY d'autre part, pour chaque plancher de chaque bâtiment, les accélérations considérées étant prises soit au pic soit à l'asymptote des spectres, est une bonne indication de la nocivité d'un spectre par rapport à l'autre.

La Direction de l'expertise en sûreté remet en cause cette comparaison, qui peut ne pas capter les effets importants d'une accélération dans une direction par rapport aux autres directions. De même, pour les équipements rigides, EDF a réalisé une comparaison des efforts aux ancrages, en comparant les sommes quadratiques des efforts dans les trois directions. La Direction de l'expertise en sûreté estime que cette comparaison n'est pas pertinente.

Enfin, la Direction de l'expertise en sûreté convient que les méthodes de dimensionnement des SCC font apparaître des marges par rapport à leur défaillance, mais que, en l'absence de quantification de celles-ci, il n'est pas possible de conclure qu'elles permettent de couvrir l'accroissement des sollicitations, notamment verticales, résultant de l'augmentation des spectres réévalués.

Pour la Direction de l'expertise en sûreté, la mise en œuvre du filtre 2 n'est pas acceptable.

2.3. FILTRE 3

Le filtre 3 consiste à dédouaner les planchers pour lesquels les spectres de plancher horizontaux déterminés au SMS-D2 dépassent les spectres horizontaux au SDD CPY de moins de 10 %. Les spectres de plancher dans la direction verticale n'interviennent pas dans la définition du filtre 3.

EDF justifie ce filtre par l'existence de marges au niveau des méthodes de dimensionnement, permettant de couvrir des dépassements d'accélérations de moins de 10 %. De plus, EDF indique que les zones de dépassement apparaissent pour des fréquences propres qui ne concernent que très peu d'équipements (fréquences autour de 2 Hz).

La Direction de l'expertise en sûreté souligne que ce filtre ne s'applique qu'aux spectres de plancher déterminés dans la direction horizontale, alors que des dépassements significatifs sont observés dans la direction verticale. Compte tenu de sa position concernant le filtre 2, **la Direction de l'expertise en sûreté estime que l'utilisation du filtre 3 est acceptable, sous réserve que ce filtre s'applique à l'ensemble des directions horizontales et verticale des spectres de plancher.**

2.4. FILTRE 4

Le filtre 4 consiste en l'identification des planchers concernés par des dépassements « importants et significatifs » dans la direction horizontale. Plus précisément, ce filtre consiste à exclure du périmètre de réévaluation les planchers pour lesquels à la fois :

- des dépassements horizontaux ponctuels sont observés sur une gamme de fréquences limitée ;
- l'accélération au pic du spectre de référence (SDD CPY et SDD Cruas) n'est pas dépassée par l'accélération au pic du spectre réévalué ;
- l'accélération à la fréquence de coupure¹⁰ du spectre de plancher de référence n'est pas dépassée par l'accélération à la fréquence de coupure du spectre réévalué.

Pour ce qui concerne les dépassements horizontaux ponctuels sur une plage de fréquences limitée, la Direction de l'expertise en sûreté constate que les dépassements ne sont pas quantifiés par EDF et que la largeur de la bande de fréquences sur laquelle ont lieu les dépassements n'est pas non plus quantifiée.

De plus, la Direction de l'expertise en sûreté constate que les pics des spectres de plancher associés aux SDD CPY et SMS-D2 ne sont pas situés à la même fréquence, ce qui interroge la pertinence du second critère. EDF a indiqué que la majorité des SSC était en fait vérifiée à l'aide d'analyses pseudo-statiques en appliquant

⁹ Le cumul quadratique des accélérations consiste à calculer la racine carrée de la somme des carrés des accélération selon les trois directions dans l'espace.

¹⁰ La fréquence de coupure correspond à la fréquence à partir de laquelle il n'y a pas d'amplification par rapport à l'accélération vue au niveau du support.

l'accélération au pic quelle que soit la fréquence propre du SSC. La Direction de l'expertise en sûreté estime que, dans ces conditions d'application, ce critère est satisfaisant.

La comparaison de l'accélération à la fréquence de coupure du spectre de plancher de référence avec l'accélération à la fréquence de coupure du spectre réévalué n'appelle pas de remarque de la part de la Direction de l'expertise en sûreté.

La Direction de l'expertise en sûreté estime que, pour être acceptable, le filtre 4 doit s'appliquer aussi bien dans les directions horizontales que verticale et pour des dépassements quantifiés en termes d'intensité et de gamme de fréquences concernées.

3. PÉRIMÈTRE DE RÉÉVALUATION SISMIQUE DU SITE DE CRUAS

Compte tenu des éléments exposés ci-dessus, la Direction de l'expertise en sûreté estime que l'application de la méthodologie de dédouanement des SSC par application des filtres susmentionnés n'est pas satisfaisante pour la réévaluation sismique du site de Cruas.

Pour la Direction de l'expertise en sûreté, les équipements dont le rôle est particulièrement important pour la sûreté sont déjà identifiés au titre de la démarche DÉRÉSMA. Ce sont ceux qui relèvent d'un niveau hiérarchique élevé, et qui correspondent par définition aux équipements indispensables au repli et au maintien de l'installation dans un état sûr après séisme. Ainsi, la Direction de l'expertise en sûreté considère qu'au minimum l'ensemble de ces équipements devrait faire partie du périmètre de réévaluation sismique. En conséquence, la Direction de l'expertise en sûreté a demandé à EDF au cours de l'expertise de compléter le périmètre de réévaluation sismique du site de Cruas en excluant du dédouanement les équipements de niveau hiérarchique élevé au sens de la méthode DÉRÉSMA, étant donné leur rôle particulièrement important pour la sûreté.

À l'issue de l'expertise EDF a proposé une démarche qui, tout en visant à répondre dans le principe à la demande de la Direction de l'expertise en sûreté, permet de limiter le nombre d'équipements à réévaluer. Cette démarche consiste à réaliser des études de tenue sismique au SMS-D2 :

- pour les équipements de hiérarchie structurelle élevée hormis ceux du circuit primaire principal (CPP) ainsi que des circuits secondaires principaux (CSP), et hormis les tuyauteries dont le diamètre extérieur est supérieur à 60.3 mm ;
- pour les équipements de hiérarchie structurelle intermédiaire et de hiérarchie fonctionnelle élevée qui seraient des contributeurs importants au risque de fusion du combustible ou au risque de rejets, identifiés à l'aide de l'étude probabiliste de sûreté (EPS) séisme réalisée pour le site de Cruas à l'état VD4¹¹.

Pour ce qui concerne les tuyauteries de diamètre extérieur supérieur à 60.3 mm, selon la démarche DÉRÉSMA, le diagnostic de premier niveau est uniquement réalisé à partir de la comparaison des chargements sismiques horizontaux. Les tuyauteries non retenues dans le périmètre de réévaluation sont installées sur des planchers pour lesquels les spectres horizontaux SMS-D2 sont couverts par les spectres de conception. De plus, EDF a justifié l'absence d'impact de la composante verticale sur la tenue sismique des supports des tuyauteries retenues dans le périmètre de réévaluation. Ceci est satisfaisant.

Les équipements du CPP et des CSP font quant à eux l'objet des dossiers de référence réglementaires (DRR). Les DRR sont mis à jour à chaque visite décennale en prenant en compte l'aléa sismique réévalué le cas échéant. La note de synthèse des études DRR pour le site de Cruas sera transmise à l'ASNR en juin 2026. En conséquence, la Direction de l'expertise en sûreté n'émet pas à ce stade de remarque sur ce point.

Pour ce qui concerne les équipements de hiérarchie structurelle intermédiaire et de hiérarchie fonctionnelle élevée devant faire l'objet d'une réévaluation, EDF a ainsi proposé de réduire leur périmètre en utilisant l'EPS séisme réalisée pour le site de Cruas à l'état VD4 et en retenant ceux qui seraient des contributeurs importants au risque de fusion du combustible ou au risque de rejets. La Direction de l'expertise en sûreté estime que la démarche

¹¹ 4^{ème} Visite Décennale.

d'utilisation de l'EPS séisme de Cruas en complément de la démarche DÉRÉSMA est satisfaisante dans son principe. Elle nécessite toutefois d'assurer une bonne traçabilité de toutes les étapes conduisant à la liste des équipements retenus *in fine* pour la réévaluation sismique. Elle doit permettre l'identification des matériels importants pour le repli et le maintien du réacteur dans un état sûr ou pour garantir le confinement et la limitation des conséquences d'un accident grave à la suite d'un séisme.

4. CONCLUSION

À l'issue de son expertise, la Direction de l'expertise en sûreté considère que les spectres de plancher définis par EDF pour la réévaluation sismique du site de Cruas au SMS-D2 sont adaptés. Elle attire l'attention sur l'importance de vérifier la cohérence entre le niveau d'endommagement évalué des planchers et les hypothèses prises en compte pour la vérification du supportage des équipements.

Dans le cas du site de Cruas pour lequel certains spectres de plancher au SMS-D2 dans la direction verticale excèdent très significativement les spectres du dimensionnement, la Direction de l'expertise en sûreté considère que l'application du filtre 2 de la méthodologie initialement proposée par EDF n'est pas acceptable. Ce point remet en cause l'ensemble de la méthodologie.

La Direction de l'expertise en sûreté estime que les équipements dont le rôle est particulièrement important pour la sûreté, identifiés au titre de la démarche DÉRÉSMA, doivent *a priori* faire partie du périmètre de réévaluation sismique. Pour affiner ce périmètre, EDF a proposé à la fin de l'expertise de s'appuyer notamment sur les résultats de l'EPS séisme, ce qui est satisfaisant. Dans la perspective de futures réévaluations sismiques, la Direction de l'expertise en sûreté estime que l'intérêt d'une mise à jour de la démarche DÉRÉSMA pour inclure ce complément probabiliste mérite d'être examiné.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté