



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 10 décembre 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2024-00181

Objet : Centre CEA de Marcoule
Démarche d'évaluation de l'aléa sismique – Effets de site particuliers
Détermination des facteurs d'aggravation à l'échelle du centre de Marcoule

Réf. : Lettre ASN/CODEP-DRC-2019-001859 du 20 novembre 2018.

Par la lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les facteurs d'aggravation retenus pour chaque installation du centre de Marcoule du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), afin de prendre en compte les effets de site particuliers de l'aléa sismique sur ce centre. L'ASN demande en particulier à l'IRSN d'évaluer la pertinence de la méthode de calcul de ces facteurs d'aggravation adoptée par le CEA, en cohérence avec l'expertise réalisée par l'IRSN en 2019 du dossier de réexamen périodique de l'installation nucléaire de base (INB) n°148 (Atalante) du centre CEA de Marcoule.

De l'évaluation du dossier transmis, tenant compte des éléments apportés par le CEA au cours de l'expertise, l'IRSN retient les principaux éléments suivants.

1. CONTEXTE

Le site de Marcoule, implanté sur la rive droite du Rhône, comprend principalement le centre CEA de Marcoule et en périphérie de celui-ci, au nord-ouest l'INB n°170 GAMMATEC exploitée par Synergy Health, à l'est l'INB n°151 MELOX exploitée par Orano et au sud l'INB n°160 CENTRACO exploitée par Cyclife.

Sur le centre CEA de Marcoule, sont implantées trois INB, le réacteur de recherche Phénix (INB n°71) en démantèlement, le laboratoire Atalante (INB n°148) au nord-est en exploitation et l'installation DIADEM (INB n°177) au nord-ouest en construction, ainsi qu'une Installation Nucléaire de Base Secrète (INBS).

S'agissant du milieu géologique, le centre CEA de Marcoule est localisé en bordure des anciens canyons du Rhône et de la Cèze. Selon la règle fondamentale de sûreté (RFS) 2001-01 relative à la détermination du risque sismique pour la sûreté des INB de surface, cette configuration géologique multidimensionnelle peut modifier le mouvement du sol (amplification, allongement de sa durée). Ces effets, non pris en compte par le spectre de réponse sismique (spectre « alluvions » de la RFS 2001-01), sont dits « particuliers ». Pour une telle configuration géologique, la RFS 2001-01 préconise de réaliser une étude spécifique. Ainsi, le CEA a mis en œuvre la méthode dite du facteur d'aggravation afin d'évaluer, pour chaque installation du centre CEA de Marcoule, la majoration à appliquer au spectre « alluvions ». Il convient de noter que l'INB n°71, compte tenu de sa situation en bordure du site de Marcoule fondée sur le rocher, n'est pas concernée par les effets de site particuliers.

MEMBRE DE
ETSON

2. MÉTHODE DU FACTEUR D'AGGRAVATION

2.1. CARACTÉRISATION DU MILIEU GÉOLOGIQUE DU CENTRE DE MARCOULE

Comme mentionné à l'issue de l'expertise du dossier de réexamen périodique de l'INB n°148, l'IRSN relève l'effort important et continu engagé par le CEA depuis plusieurs années pour approfondir la connaissance des propriétés des anciens canyons de la Cèze et du Rhône et de leur remplissage sédimentaire, sur lesquels le centre CEA de Marcoule est localisé. Toutefois, la caractérisation de l'ancien canyon de la Cèze reste entachée de fortes incertitudes, partiellement explorées dans les modèles de sol du CEA. À cet égard, **l'IRSN estime que le CEA pourrait valoriser l'ensemble des investigations géologiques, géophysiques et géotechniques réalisées sur le centre de Marcoule et présenter, pour chaque installation ou zone du centre de Marcoule, une synthèse de l'ensemble des données géologiques, géophysiques et géotechniques disponibles à date. Cette synthèse pourrait s'accompagner d'éléments d'appréciation sur la qualité ou la fiabilité des données.**

Dans la perspective des prochains réexamens périodiques des INB du centre CEA de Marcoule ou de la conception de nouvelles installations, ces synthèses permettraient de définir des modèles de sol cohérents avec l'ensemble des connaissances et mesures disponibles à date. **À l'issue de cette synthèse, il appartient au CEA d'identifier les éventuels besoins en termes de caractérisation des propriétés du sol et de poursuivre l'acquisition de données afin de compléter la connaissance du milieu géologique.**

2.2. INSTRUMENTATION SISMOLOGIQUE

Depuis 2013, le CEA a déployé plusieurs stations sismologiques réparties sur le centre de Marcoule. À partir des enregistrements de séismes de ces stations, il a évalué les amplifications empiriques du mouvement du sol entre plusieurs points du centre et le point de référence implanté au rocher localisé en surface à l'extérieur du centre.

L'IRSN relève que les amplifications empiriques présentées par le CEA en 2021 sont fondées, pour la plupart des stations, sur un nombre de séismes plus important que celui présenté en 2018, en raison de périodes d'enregistrement plus longues. Cette avancée permet de consolider les valeurs des amplifications empiriques et d'atteindre des fréquences plus élevées, **ce qui est satisfaisant**. En effet, la durée d'enregistrement des données nécessaire pour obtenir une estimation fiable des amplifications empiriques dépend du nombre, de la qualité et des caractéristiques (dont la magnitude, la distance et l'azimut) des séismes enregistrés. **Aussi, il appartient au CEA de poursuivre l'enregistrement des données sismiques sur des périodes suffisamment longues pour obtenir une estimation fiable des amplifications empiriques, notamment à haute fréquence.**

En l'état actuel des connaissances, les amplifications empiriques mettent clairement en évidence la variabilité de la réponse sismique sur le centre CEA de Marcoule. À cet égard, compte tenu de la démarche du CEA de définir un spectre sismique spécifique¹ pour chaque INB ou zone du centre de Marcoule, l'IRSN estime nécessaire de prendre en compte la variabilité spatiale de l'amplification empirique à l'échelle du centre CEA de Marcoule. **À cette fin, il appartient au CEA de densifier son réseau de capteurs sismologiques à proximité des installations et notamment dans les secteurs nord-ouest et ouest du centre de Marcoule.**

2.3. DÉMARCHE DU CEA POUR CALCULER LES FACTEURS D'AGGRAVATION

La méthode du facteur d'aggravation, identique à celle examinée par l'IRSN dans le cadre de l'expertise du réexamen périodique de l'INB n°148 (Atalante), a été proposée par le CEA avant la disponibilité d'un nombre suffisant d'enregistrements de séismes permettant de calculer les amplifications empiriques. Pour rappel, elle s'appuie sur des simulations numériques de la propagation des ondes dans des modèles de sol bidimensionnels (2D) et unidimensionnels (1D). Le facteur d'aggravation ainsi calculé traduit la proportion, dans les spectres issus

¹ Un spectre spécifique est un spectre sismique défini pour une installation en tenant compte de la réponse de la géologie locale (effets de site particuliers).

des modèles 2D, d'ondes réfléchies sur les bords du canyon par rapport aux spectres calculés dans les modèles 1D. **L'IRSN estime que cette méthode ne permet pas de prendre en compte la totalité de l'amplification du mouvement sismique liée à la géométrie des anciens canyons sous le centre de Marcoule.**

De plus, le facteur retenu est appliqué au spectre « alluvions » de la RFS 2001-01, ce qui signifie que le CEA considère que ce spectre couvre l'amplification liée à l'épaisseur de sédiments localisée au droit du site de Marcoule suivant une géométrie 1D. Or, dans le cadre de l'évaluation des effets de site pour certains sites nucléaires localisés sur de fortes épaisseurs de sédiments², des calculs récents réalisés par d'autres exploitants ont montré que les spectres spécifiques peuvent dépasser significativement le spectre « alluvions » de la RFS 2001-01 dans certaines gammes de fréquence. Or, le centre CEA de Marcoule, en plus d'être localisé sur des anciens canyons à géométrie complexe, est également situé sur une forte épaisseur de sédiments. **Aussi, l'IRSN considère que l'hypothèse du CEA du caractère suffisant du spectre « alluvions » pour couvrir l'amplification liée à l'épaisseur de sédiments au droit de chaque INB ou zone du centre de Marcoule n'est pas démontrée.** Pour rappel, à l'issue de son expertise du dossier de réexamen d'Atalante, l'IRSN avait émis des réserves sur cette même hypothèse.

Compte tenu de ces éléments, l'IRSN estime que la méthode du facteur d'aggravation du CEA n'est plus adaptée pour définir l'aléa sismique tenant compte des effets de site particuliers sur le centre de Marcoule.

Enfin, les enregistrements de séismes actuellement disponibles sur le centre de Marcoule permettent d'évaluer les amplifications empiriques sur des plages de fréquence de plus en plus larges de manière fiable. **Aussi, l'IRSN estime que le CEA doit désormais s'appuyer sur les amplifications empiriques estimées à partir d'enregistrements de séismes, complétées si besoin par celles issues de calculs numériques (notamment à haute fréquence) dans des modèles 2D ou tridimensionnels (3D) et les utiliser directement pour le calcul des spectres retenus pour chaque INB ou zone du centre de Marcoule, sans normalisation par des spectres issus de modèles 1D.** Ce point fait l'objet de la recommandation n°1 en annexe au présent avis.

3. VALEURS DES FACTEURS D'AGGRAVATION

Étant donné les limites de la méthode de définition du facteur d'aggravation identifiées ci-avant, l'IRSN a estimé les spectres spécifiques à chaque installation du centre de Marcoule selon ses propres méthodes de calcul. En raison des réserves émises sur les modèles de sol 2D, l'IRSN a privilégié le calcul des spectres spécifiques à partir des amplifications empiriques. L'analyse des majorations à apporter au spectre « alluvions » pour tenir compte des effets de site particuliers sur le centre de Marcoule se fonde sur la comparaison entre les résultats des contre-calculs de l'IRSN et les valeurs du facteur d'aggravation du CEA, en fonction de la localisation des installations sur le centre de Marcoule. Ainsi :

- pour les installations localisées dans le secteur nord-est du centre de Marcoule, comme l'INB n°148 Atalante, les facteurs d'aggravation retenus par le CEA à basse et haute fréquences sont acceptables ;
- pour les installations situées dans le secteur est du centre de Marcoule, le facteur à haute fréquence devrait être au moins égal à celui considéré à basse fréquence actuellement ;
- pour les installations situées dans le secteur sud du centre de Marcoule, le facteur à basse fréquence devrait être au moins égal à 1,5 ;
- pour les installations situées dans le secteur ouest, le facteur devrait être au moins égal à 1,5 sur toute la gamme de fréquences ;
- pour les installations localisées dans le secteur nord-ouest du site de Marcoule, comme l'INB n°177 DIADEM, qui présente les amplifications empiriques les plus fortes à haute fréquence, le facteur devrait être au moins égal à 1,8 à haute fréquence.

² La géologie de ces sites a une géométrie unidimensionnelle sans effet de bord.

Sur la base de ces résultats, l'IRSN estime que, pour les futures installations localisées dans le secteur nord-ouest du centre de Marcoule, les études existantes sont à compléter afin d'améliorer la connaissance des conditions géologiques locales et de mieux comprendre leur impact sur l'amplification du mouvement du sol. Ce point fait l'objet de la recommandation n°2 en annexe au présent avis.

Dans l'attente des résultats des investigations et de la mise à jour de l'aléa sismique en cohérence avec la recommandation n°1, l'IRSN a conduit une étude des niveaux d'aléa sismique fondée sur les facteurs d'aggravation issus de ses calculs et sur de nouveaux spectres SMS³ et paléoséisme plus faibles que ceux retenus par le CEA et validés en 2023 par l'ASN pour une INB attenante au centre CEA de Marcoule. **Cette étude montre qu'une majoration d'un facteur d'au moins 1,5 devrait être appliquée au spectre « alluvions » de la RFS 2001-01 retenu par le CEA dans le secteur nord-ouest du centre de Marcoule.** Ce point fait l'objet de la recommandation n°3 en annexe au présent avis. Cette valeur correspond à la majoration prise par le CEA pour dimensionner l'INB n°177 DIADEM.

4. CONCLUSION

Sur la base du dossier transmis, tenant compte des éléments apportés au cours de l'expertise, bien que les facteurs d'aggravation retenus par le CEA pour les INB n°148 Atalante et n°177 DIADEM n'appellent pas de remarque à ce stade, l'IRSN considère que la méthode du CEA de définition des facteurs d'aggravation n'est plus adaptée à l'égard de l'état actuel des connaissances. Le CEA devrait désormais s'appuyer sur les amplifications empiriques estimées à partir d'enregistrements de séismes, complétées si besoin par celles issues de calculs numériques et les utiliser pour la définition de l'aléa sismique de chaque INB ou zone du centre CEA de Marcoule. En outre, l'IRSN estime que le CEA devrait compléter ses investigations des caractéristiques du sol dans la zone nord-ouest du centre où est implantée l'INB n°177 DIADEM. Dans l'attente, pour les prochains réexamens périodiques ou le dimensionnement des installations situées dans ce secteur, il devrait appliquer *a minima* une majoration d'un facteur d'au moins 1,5 de l'aléa sismique actuel. Ces points font l'objet des recommandations présentées en annexe à cet avis.

IRSN

Le Directeur général
Par délégation
Anne-Cécile JOUVE
Adjointe au Directeur de l'expertise

³ SMS : séisme majoré de sécurité défini, dans la RFS 2001-01, en ajoutant conventionnellement 0,5 à la magnitude du séisme le plus pénalisant susceptible de se produire sur une durée d'environ 1000 ans, évalué sur la base des séismes historiquement connus.

ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2024-00181 DU 10 DÉCEMBRE 2024

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande que, pour la définition de l'aléa sismique pour les installations du centre CEA de Marcoule, le CEA prenne en compte, lors des prochains réexamens périodiques de la sûreté des installations existantes et dans le dimensionnement des nouvelles installations, les amplifications du mouvement du sol issues d'enregistrements de séisme aux capteurs installés à proximité de chaque installation ou zone, complétées, si besoin, par des calculs numériques de propagation des ondes dans des milieux 2D ou 3D.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande que le CEA mène des investigations géologiques, géophysiques et sismologiques dans la zone nord-ouest du centre CEA de Marcoule afin d'y améliorer la connaissance des effets de site particuliers.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande que le CEA majore son spectre « alluvions » actuel d'un facteur d'au moins 1,5 sur toute la gamme de fréquences dans le secteur nord-ouest du centre CEA de Marcoule.