

Monsieur le Directeur de la direction des
déchets, des installations de recherche
et du cycle

Fontenay-aux-Roses, le 7 mars 2025

Avis d'expertise n° 2025-00016 du 7 mars 2025

**Objet : Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra)
Centre de stockage de l'Aube (CSA) – INB n°149
Engagements pris dans le cadre du second réexamen périodique de l'INB n°149
(E10 et E34 relatifs à l'incendie)**

Référence : Lettre ASN CODEP-DRC-2022-042555 du 20 décembre 2022

Par lettre citée en référence, l'ASN a demandé l'avis de l'IRSN sur les éléments transmis par l'Andra en réponse à ses engagements E10 et E34 pris en 2018 à l'issue de l'instruction du second réexamen du centre de stockage de l'Aube (CSA). Ces deux engagements relatifs à la maîtrise des risques liés à l'incendie concernent d'une part la justification de la stabilité au feu de l'Atelier de Conditionnement des Déchets (ACD) (E10), d'autre part la réévaluation du scénario d'incendie impliquant un camion transportant des caissons de déchets à l'extérieur des bâtiments (E34).

Au 1^{er} janvier 2025, l'ASN et l'IRSN sont devenus l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR). Le présent avis de la Direction de la recherche et de l'expertise en environnement (PSE-ENV) de l'ASNR vient en réponse à la lettre citée en référence. L'examen par PSE-ENV des éléments transmis par l'Andra appelle les commentaires suivants.

1. STABILITE AU FEU DE L'ACD (ENGAGEMENT E10)

L'ACD est dédié aux activités de réception, de contrôle et de conditionnement des déchets. Il comprend des halls de réception, des zones d'entreposage et des locaux dédiés aux opérations de conditionnement et de contrôle de colis. Au stade du dernier réexamen de sûreté, l'Andra estimait que l'ACD était stable à un feu d'une durée de 2 heures, sans toutefois en apporter la démonstration technique. Elle avait alors pris l'engagement, à l'issue de l'instruction, de « *présenter une étude de stabilité au feu de l'ACD* ».

L'étude de stabilité au feu de l'ACD transmise par l'Andra en réponse à son engagement se base sur des analyses de stabilité des éléments structuraux en béton armé de l'ACD (poteaux, voiles, dalles et poutres). Les exigences de comportement retenues par l'Andra sont la stabilité minimale de 2 heures de ces éléments ainsi que l'absence d'agression de l'ACD par les bâtiments mitoyens en cas d'incendie survenant dans ces bâtiments. A ce titre, l'Andra a démontré l'absence de risque d'effondrement de l'ensemble du bâtiment des services en direction de l'ACD, ce dont PSE-ENV convient, et a présenté une étude de stabilité au feu portant sur la section de 10 mètres de largeur du bâtiment des services adjacente à l'ACD. Dans la suite du présent avis, le terme « bâtiment des services » fait exclusivement référence à cette section.

Démarche d'évaluation de la stabilité au feu

La démarche suivie par l'Andra pour élaborer son étude est fondée sur l'Eurocode 2 - Partie 1-2 relative au calcul du comportement des structures en béton en situation d'incendie¹. Lorsque le feu normalisé retenu dans l'Eurocode 2² est enveloppe des feux susceptibles d'être initiés, cette démarche peut comprendre jusqu'à 3 étapes. La première étape consiste à vérifier la stabilité des éléments structuraux au feu normalisé par application de la méthode dite des valeurs tabulées, qui consiste à comparer les dispositions constructives des éléments porteurs (types de béton, dimensions, configuration...) aux valeurs tabulées définies dans l'Eurocode 2 pour ce feu normalisé. Pour les éléments structuraux n'atteignant pas la résistance au feu normalisé de 2 heures requise avec cette méthode, une deuxième étape consiste à réaliser une analyse plus précise du comportement des structures au feu normalisé, basée sur une analyse thermique couplée à une analyse mécanique par « élément » ou partie de la structure. Pour les éléments de structure ne respectant toujours pas l'exigence de stabilité au feu à l'issue de cette seconde étape, l'Andra fait le choix de mettre en œuvre directement des protections contre les effets d'un incendie pour certains éléments ; pour d'autres éléments, pour lesquels la mise en œuvre de moyens de protection pourrait ne pas être nécessaire, l'Andra réalise une analyse de la stabilité au regard de scénarios de feu « réel³ » (étape 3). Enfin, lorsque le feu normalisé n'est pas enveloppe des feux susceptibles d'être initiés, l'Andra analyse directement la stabilité des éléments structuraux au feu réel (i.e. étapes 1 et 2 non nécessaires). Aux étapes 2 et 3, les déplacements des éléments sont estimés au cours du temps et comparés à des critères de stabilité mécanique permettant de statuer sur leur stabilité.

PSE-ENV estime que la démarche de l'Andra, basée d'une part sur la sélection de scénarios de feu enveloppe des feux susceptibles de survenir dans les locaux constitués d'éléments structuraux de l'ACD et du bâtiment des services, et d'autre part sur l'Eurocode 2 pour l'évaluation de leur stabilité, **est adaptée dans son principe pour étudier le comportement au feu des structures de l'ACD et du bâtiment des services**. Les étapes 1 et 2 de la démarche de l'Andra n'appellent pas de remarque particulière de PSE-ENV. S'agissant de l'étape 3, les scénarios retenus pour l'analyse de stabilité des éléments structuraux aux feux réels ont été regroupés par l'Andra dans dix scénarios d'incendie dits de référence, définis pour être enveloppes de l'ensemble des scénarios possibles. Cinq scénarios (SC1, SC2, SC3, SC9 et SC10) correspondent à des feux supérieurs au feu normalisé. Il s'agit de scénarios de feu de camion ou de feu généralisé de type électrique ou cellulosique. Les cinq autres scénarios (SC4, SC5, SC6, SC7 et SC8) sont définis pour répondre au besoin d'étude sous feu réel d'éléments n'ayant pas vérifié les critères de stabilité à l'issue des étapes 1 et 2 de la démarche présentée ci-dessus. Il s'agit de scénarios de feu localisé ou généralisé, de type électrique, plastique ou bois. **PSE-ENV estime que la plupart des scénarios retenus par l'Andra sont bien pénalisants au regard des situations possibles**. Pour le scénario d'incendie d'armoires électriques (SC4), les modélisations ont été réalisées avec l'hypothèse d'une cinétique de croissance « lente »⁴. En cours d'expertise, l'Andra a indiqué que les études en support à la démonstration de sûreté seraient mises à jour lors du prochain réexamen de sûreté en tenant compte d'une cinétique de développement de feu de type « moyenne » pour les foyers d'armoires électriques. PSE-ENV estime qu'une telle cinétique est effectivement plus en accord avec la littérature scientifique. Ceci ne devrait toutefois pas remettre en cause les conclusions associées à ce scénario. Aussi, de manière formelle, PSE-ENV considère qu'il **appartiendra à l'Andra de tenir compte, comme elle le prévoit, d'une cinétique de développement de feu de type « moyenne » pour les foyers d'armoires électriques lors de la révision des études de stabilité à l'incendie en vue du prochain réexamen de sûreté**.

Effets des incendies modélisés sur les éléments structuraux

L'analyse de la stabilité des éléments structuraux de l'ACD et du bâtiment des services réalisée par l'Andra a montré que certains éléments structuraux de l'ACD ne résisteraient pas à un feu de 2 heures ; ceux-ci sont listés en annexe 2. En outre, suite aux échanges au cours de l'expertise, l'Andra a réalisé une analyse qualitative de la résistance au cisaillement des éléments structuraux, en tenant compte de l'augmentation des efforts tranchants

¹ NF EN 1992-1-2 et Annexe Nationale : « Eurocode 2 : Calcul des structures en béton – Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu »

² Le feu normalisé retenu dans l'Eurocode 2 Partie 1-2 fait référence à la norme ISO 834 relative aux essais de résistance au feu sur les éléments de construction ; il se traduit par une courbe température/temps normalisée

³ Représentatif du feu dans le local concerné

⁴ En fonction de la cinétique retenue, le temps donné à la croissance du feu pour atteindre un feu pleinement développé sera de quelques minutes (cinétique « rapide ») à quelques dizaines de minutes (cinétique « lente »)

en situation d'incendie, qui conclut à la nécessité de protéger contre l'incendie quelques éléments supplémentaires (précisés en annexe 2). Sur la base des études présentées, l'Andra conclut que la stabilité de l'ACD et du bâtiment des services est vérifiée sous réserve de la mise en place de dispositions contre les effets d'un incendie sans les définir à ce stade.

Au-delà des éléments identifiés par l'Andra, PSE-ENV constate que les valeurs de déplacement estimées par modélisation pour certains voiles et dalles sous incendie sont proches ou dépassent les critères de stabilité. Il s'agit des éléments de l'ACD suivants :

- le voile V41 des locaux C022-C023, qui supporte un pont roulant et dont le déplacement de 55 cm (1/16ème de sa hauteur) entrainerait la chute du pont roulant et celle du mur,
- la dalle de plancher du local C317 ; cette dalle présente un déplacement maximum à mi-portée important (1/20ème de sa portée),
- le voile V58 du local C024, dont la vitesse de déplacement simulée est brutale et significative, ce qui pourrait signifier une perte de sa stabilité.

À cet égard, PSE-ENV estime que les incertitudes sur les résultats des analyses sont difficilement quantifiables, car dépendantes de choix de modélisation concernant la représentation de situations complexes ou de certains matériaux (représentation du béton comme un matériau homogène) et des conditions aux limites. Par conséquent, une attention particulière doit être portée aux éléments structuraux dont les valeurs de déplacement sont proches des critères de stabilité. **Aussi, PSE-ENV estime que le voile V41 des locaux C022-C023, la dalle de plancher du local C317 ainsi que le voile V58 du local C024 doivent faire l'objet de dispositions contre les effets d'un incendie.** Ce point est repris dans la recommandation ci-dessous.

S'agissant du scénario SC5 correspondant à un feu généralisé dans le local C101 (local de convoyage de fûts du transstockeur vers la presse à compacter), une modélisation avec un foyer localisé sous la poutre L29 est réalisée afin de déterminer les sollicitations thermiques les plus pénalisantes, sur la base de laquelle l'Andra conclut à la nécessité de mettre en place des dispositions contre les effets d'un incendie (cf. annexe 2). PSE-ENV relève que l'Andra ne tient pas compte d'un foyer localisé sous les autres poutres du local pour ce même scénario, et conclut que celles-ci résistent à l'incendie. Or le convoyeur qui transporte les colis dans ce local se situe au droit de l'ensemble des poutres. Par conséquent, **PSE-ENV estime que l'Andra devra mettre en place des dispositions contre les effets d'un incendie pour l'ensemble des poutres du local C101.** Ce point est repris dans la recommandation ci-dessous.

Par ailleurs, l'Andra conclut de son analyse d'un scénario de feu de camion dans le local C023, à la non-stabilité du voile V34, mais non à celle du voile V47 alors qu'elle précise que celui-ci joue un rôle symétrique pour le local C022 à celui du voile V34 pour le local C023, les locaux C022 et C023 étant deux halls de déchargement eux-mêmes symétriques et dédiés à des opérations similaires. Par conséquent, PSE-ENV estime que le scénario d'incendie d'un feu de camion dans le local C022 devrait conduire à des résultats similaires au scénario équivalent dans le local C023, et donc à la non-stabilité du voile V47. **Ainsi, PSE-ENV considère que le voile V47 devra faire l'objet de mesures de protection vis-à-vis des risques liés à l'incendie, au même titre que le voile V34.**

Au regard des éléments qui précèdent, **PSE-ENV recommande que l'Andra mette en place des dispositions contre les effets d'un incendie pour les éléments suivants :**

- les voiles V41 et V47 des locaux C022-C023 ;
- la dalle de plancher du local C317 ;
- le voile V58 du local C024 ;
- les poutres L30 à L32 du local C101.

A cet égard, PSE-ENV considère qu'il conviendrait de privilégier, autant que possible, des dispositions passives contre les effets d'un incendie. L'Andra a indiqué qu'elle précisera les dispositions qu'elle retiendra en tenant compte des conclusions de l'instruction par l'ASNR du présent dossier et de celles des réponses à ses engagements E22 et E26 relatifs au séisme pris à l'issue du second réexamen de sûreté, également en cours d'instruction par l'ASNR, dans la mesure où des renforcements d'éléments structuraux vis-à-vis du séisme sont également prévus par l'Andra. **Ceci n'appelle pas de remarque.**

Par ailleurs, pour ce qui concerne la stabilité des dalles, l'Eurocode 2 Partie 1-2 prescrit dans un premier temps, d'étudier la résistance au feu des dalles « sur appui simple » puis, dans un second temps, de justifier le maintien

d'une capacité de rotation des dalles continues⁵ au niveau de leurs appuis permettant de garantir l'absence de rupture des aciers. L'Andra présente dans son dossier l'étude de la résistance au feu sur dalle sur appui simple, mais pas celle du maintien des capacités de rotation. **Aussi, de manière formelle, PSE-ENV considère qu'il appartiendra à l'Andra d'apporter, au stade du prochain réexamen, la justification de la capacité de rotation sur appui des dalles continues.**

Enfin, PSE-ENV relève que l'analyse présentée par l'Andra ne couvre pas les ponts de manutention. L'Andra considère que la justification de leur stabilité ne relève pas de l'engagement E10, qui porte sur les éléments de structure de l'ACD, et que l'agression des éléments importants pour la protection des intérêts (EIP) dans l'ACD par un incendie est couverte par les scénarios de dimensionnement figurant dans le rapport de sûreté (RDS). PSE-ENV souligne que la chute d'un pont roulant suite à un incendie peut entraîner l'endommagement des EIP sous-jacents, dont font partie certains éléments structuraux de l'ACD, en particulier les équipements liés à la maîtrise du confinement statique en situation d'incendie. Aussi, **PSE-ENV recommande, en vue de la définition des dispositions contre les effets d'un incendie et au plus tard pour le prochain réexamen, que l'Andra complète l'étude de stabilité au feu de l'ACD en justifiant l'absence d'agression des éléments structuraux de l'ACD par les ponts de manutention en cas d'incendie.**

2. SCENARIO D'INCENDIE D'UN CAMION A L'EXTERIEUR (ENGAGEMENT E34)

Lors des opérations réalisées sur site, les colis (essentiellement des caissons de 5 m³ ou 10 m³) sont transportés par camions entre les différents bâtiments du centre. Dans le cadre du précédent réexamen, l'Andra avait fourni une évaluation des conséquences d'un incendie d'un camion sur le maintien de l'intégrité des caissons en considérant un feu de camion à l'extérieur des bâtiments. Pour l'évaluation des conséquences de ce scénario, l'Andra retenait des coefficients de mise en suspension de substances radioactives dérivés d'une démarche que l'IRSN considérait comme obsolète, basée sur le guide inter-exploitants relatif à l'incendie, et avait pris l'engagement de « *transmettre, sous quatre ans, la réévaluation du scénario d'incendie d'un camion à l'extérieur en valorisant des dispositions concourant à limiter la dispersion de substances radioactives et en justifiant les hypothèses retenues (matière mobilisée, coefficients de mise en suspension, conditions de dispersion...)* ».

En réponse à cet engagement, l'Andra considère comme terme source mobilisable dans le scénario qu'elle retient, 5 colis primaires identiques présentant un spectre et un niveau d'activité représentatifs du caisson le plus pénalisant livré sur le centre depuis sa mise en service. La totalité du chargement est considéré mobilisable dans l'incendie. Par ailleurs, les conditions de dispersion atmosphérique retenues pour le calcul d'impact radiologique sont identiques à celles présentées lors du dernier réexamen de sûreté du CSA. **Ces éléments n'appellent pas de remarque particulière de la part de PSE-ENV.**

Le scénario d'incendie présenté tient compte de la limitation de la dispersion des substances radioactives par la mise en œuvre de moyens d'extinction en moins de 10 minutes, conduisant à ce que la température atteinte à l'intérieur du caisson soit comprise entre 100 et 300°C et à l'absence de contact direct entre les flammes et les déchets. Pour justifier ces hypothèses, l'Andra s'appuie sur les résultats d'un essai consistant en un incendie d'une durée de 10 minutes d'un caisson de 10 m³ rempli de matières inflammables, placé dans une rétention contenant du fioul et des pneus, qui montre l'absence d'ouverture du caisson malgré la dégradation superficielle de son joint⁶. L'Andra considère que cet essai est pénalisant dans la mesure où il met en jeu un caisson rempli de matières inflammables alors que les déchets conditionnés au CSA sont principalement constitués de ferrailles et de gravats, non combustibles. A cet égard, PSE-ENV rappelle que le CSA est susceptible de recevoir d'autres types de déchets dont certains sont combustibles (plastique, bois, matériaux réactifs pouvant générer des gaz, etc.). Par ailleurs, PSE-ENV convient qu'une intervention rapide et efficace est de nature à empêcher la mise en contact des flammes et des substances à l'intérieur des caissons, mais relève que l'Andra ne mentionne que le délai d'intervention après l'alerte retenu dans le RDS, mais ne tient pas compte du délai entre le départ de feu et l'alerte. En outre, PSE-ENV relève que, d'après les enregistrements réalisés sur l'essai précité, les températures sont susceptibles d'atteindre 650°C au niveau du panier contenant des matières inflammables et 300°C à 30 cm de profondeur du remplissage du caisson. Sur cette base, il ne peut donc pas être exclu que, dans le cas d'un

⁵ Dalle qui s'étend sur un minimum de trois appuis, par opposition aux dalles isolées « sur appui simple » qui sont des dalles sur deux appuis

⁶ Joint plat en caoutchouc

colis de stockage, la température au niveau de colis primaires puisse être supérieure à 300°C. **Aussi, PSE-ENV considère que la démonstration du caractère enveloppe de la température maximale de 300°C retenue par l'Andra n'est pas acquise.** Ce point est repris ci-dessous.

S'agissant des hypothèses de remise en suspension, l'Andra distingue, comme suggéré par l'IRSN au stade du précédent réexamen de sûreté, la fraction d'activité mise en suspension (coefficient C1), la fraction non déposée dans les locaux (coefficient C2) et la fraction non déposée dans les voies de rejet (gainés de ventilation...) (coefficient C3). Les coefficients C2 et C3 sont pris égaux à 1 car l'incendie se déroule à l'extérieur des bâtiments. Pour le coefficient C1, les valeurs considérées par l'Andra sont comprises entre 10^{-3} et 5.10^{-1} selon les radionucléides pour une température de 300°C. PSE-ENV note que seul le coefficient de remise en suspension du plutonium a été réévalué depuis le dernier réexamen et que l'Andra n'apporte toujours pas de justification concernant les valeurs du coefficient C1 retenues. A cet égard, l'Andra a indiqué lors de l'expertise qu'une étude bibliographique des travaux réalisés ces 20 dernières années est en cours afin de confirmer les valeurs de coefficient C1 retenues ou les actualiser le cas échéant. **PSE-ENV considère que cette étude bibliographique est, dans son principe, de nature à apporter la justification des valeurs de coefficient de mise en suspension comme énoncé dans l'engagement E34. Il conviendra toutefois que celle-ci tienne compte de la remarque formulée ci-avant relative à la température maximale au niveau du terme source mobilisable.**

Aussi, au vu des éléments ci-avant, PSE-ENV considère qu'une réévaluation de ce scénario reste attendue en vue du prochain réexamen de sûreté du CSA. A cet égard, PSE-ENV rappelle que selon ses propres estimations réalisées dans le cadre de l'expertise du précédent réexamen, un tel scénario pourrait conduire à court, moyen et long terme à des doses efficaces maximales qui dépassent pour certaines la valeur de 10 mSv à long terme. Les doses calculées à court terme restent toutefois inférieures à la valeur de 10 mSv, qui correspond à la mise à l'abri en situation d'urgence. Comme à l'issue du dernier réexamen, PSE-ENV estime que ces résultats ne présentent pas un caractère inacceptable.

3. CONCLUSION

PSE-ENV estime que l'étude de stabilité au feu de l'ACD présentée par l'Andra (engagement E10) constitue une avancée significative de l'évaluation des risques liés à l'incendie pour cet atelier, de par le diagnostic à présent disponible et l'identification des éléments structuraux à protéger qui en découle. Des remarques et recommandations sont néanmoins formulées dans le présent avis afin que cette évaluation soit complétée pour le prochain réexamen de sûreté du CSA. Concernant le scénario d'incendie de camion en extérieur (engagement E34), les éléments apportés afin de justifier les hypothèses retenues dans le scénario considéré sont à ce stade insuffisants. La réévaluation de ce scénario reste par conséquent attendue en vue du prochain réexamen de sûreté.

Pour le Directeur de la recherche et
de l'expertise en environnement

Delphine PELLEGRINI

Adjointe au Directeur de la recherche et
de l'expertise en environnement

ANNEXE 1 A L'AVIS D'EXPERTISE N° 2025-00016 DU 7 MARS 2025

Recommandations de la Direction de la recherche et de l'expertise en environnement

Recommandation n° 1

PSE-ENV recommande que l'Andra mette en place des dispositions contre les effets d'un incendie pour les éléments suivants :

- les voiles V41 et V47 des locaux C022-C023 ;
- la dalle de plancher du local C317 ;
- le voile V58 du local C024 ;
- les poutres L30 à L32 du local C101.

Recommandation n° 2

PSE-ENV recommande, en vue de la définition des dispositions contre les effets d'un incendie et au plus tard pour le prochain réexamen, que l'Andra complète l'étude de stabilité au feu de l'ACD en justifiant l'absence d'agression des éléments structuraux de l'ACD par les ponts de manutention en cas d'incendie.

ANNEXE 2 A L'AVIS D'EXPERTISE N° 2025-00016 DU 7 MARS 2025

Liste établie par l'Andra et complétée au cours de l'expertise des éléments à protéger contre l'incendie

Eléments listés à l'issue des études initiales :

- les poutres L21 et L22 du local C020 ;
- les poutres L41 et L42 du local C205 ;
- la poutre L55 et de la dalle sous le voile V25 du local C216 ;
- le voile V25 des locaux C302/C306 ;
- les planchers hauts des locaux C006, C022, C023, C201, C202, C205, C208, C211, C301 et C304 ;
- les voiles V34 et V69 des locaux C022 et C023 ;
- le voile V2 du local C201 ;
- la poutre L29 du local C101.

Eléments identifiés durant l'expertise :

- le voile V30 du local C301 ;
- la poutre L2 des locaux abritant la presse.