RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 12 avril 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2024-00051

Objet	:	**Demande d'autorisation de création du projet Cigéo – "GP1" - Evaluation des données de base retenues pour l'évaluation de sûreté.**
Réf.	**:**	Lettre ASN/CODEP-DRC-2023-030596 du 7 juin 2023. Examen du dossier de demande d'autorisation de création du projet Cigéo - Saisine n° SAISI-DRC-2023-0093.

Par lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le dossier de demande d'autorisation de création (DDAC) du projet Cigéo de stockage en formation géologique profonde des déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL), déposé par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra).

L'ASN a sollicité une expertise de ce DDAC organisée selon trois groupements thématiques :

- les données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo (expertise « GP1 ») ;
- l'évaluation de sûreté en phase d'exploitation (expertise « GP2 ») ;
- l'évaluation de sûreté en phase d'après fermeture (expertise « GP3 »).

L'ASN a en outre identifié des thèmes transverses, en vue de leur intégration dans l'expertise de chacun de ces trois groupements thématiques. Il s'agit notamment des éléments de définition de la phase industrielle pilote, des spécifications préliminaires d'acceptation des colis de déchets, de la réversibilité (incluant l'adaptabilité du stockage et la récupérabilité des colis de déchets) ainsi que des conséquences liées au changement climatique.

Le présent avis concerne l'expertise GP1. Pour celle-ci, l'ASN a demandé à l'IRSN d'examiner les connaissances réunies et les hypothèses retenues par l'Andra pour établir la démonstration de sûreté de Cigéo, relatives :

- aux inventaires de colis de déchets dits de « référence » et de « réserve » et leurs caractéristiques radiologiques, physiques et chimiques, en particulier la démarche d'élaboration de ces inventaires, les caractéristiques des colis de déchets et les chroniques de mise en stockage des colis ;
- au site retenu pour accueillir Cigéo et à son évolution incluant l'après-fermeture, en particulier l'environnement de surface (état initial de l'environnement, caractéristiques météorologiques, géotechniques, hydrologiques), le contexte géologique, y compris ses ressources naturelles potentielles, l'hydrogéologie (dont sa modélisation et l'évolution géoprospective du site) ainsi que les propriétés initiales de la roche hôte ;

IRSN 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
Adresse courrier : BP 17 – 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex – France

- aux propriétés des composants du système de stockage et à leurs évolutions, en particulier les transitoires thermo-hydro-mécanique et hydraulique-gaz dus à la construction et à l'exploitation de Cigéo, le comportement des colis et les modèles de relâchement, les évolutions des matériaux cimentaires, métalliques et argileux, et enfin le comportement des radionucléides et des toxiques chimiques dans ces différents milieux.

L'ASN a demandé que soient plus particulièrement examinés la méthodologie d'acquisition des données, leur caractère suffisant au regard des modèles retenus, ainsi que l'estimation des incertitudes prises en compte à ce stade.

En outre, la présente expertise a fait l'objet d'un dialogue technique organisé par l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (Anccli), le Comité local d'information et de suivi du laboratoire de Bure (Clis de Bure) et l'IRSN, avec l'objectif double de tenir compte des préoccupations de la société civile pour rendre plus robuste l'expertise de l'IRSN et de permettre à la société civile de se forger sa propre opinion et participer ainsi au processus conduisant à la décision publique.

De l'évaluation du dossier transmis et des informations fournies par l'Andra au cours de l'instruction, l'IRSN retient les éléments développés ci-après. Les recommandations qui en résultent, ainsi que les engagements pris par l'Andra auprès de l'ASN à l'issue de cette expertise, sont listés en annexes au présent avis. Cette expertise de l'IRSN sera présentée aux membres du groupe permanent d'experts pour les déchets (GPD) lors de leur réunion des 24 et 25 avril 2024, en présence de membres des groupes permanents d'experts pour les laboratoires et les usines (GPU) et pour la radioprotection des travailleurs, du public, des patients et de l'environnement (GPRP).

1. INVENTAIRES, COLIS DE DECHETS ET ADAPTABILITE

Pour établir l'inventaire de référence de Cigéo, l'Andra retient un scénario qui postule une durée de fonctionnement du parc actuel (qui intègre notamment les réacteurs d'EDF en fonctionnement ainsi que l'EPR de Flamanville) de 50 ans ainsi qu'un multi-recyclage de tous les combustibles usés issus de ce parc. Sur cette base, l'inventaire de référence s'élève à environ 10 000 m^3 de déchets HA (près de 56 000 colis primaires) et 73 000 m^3 de déchets MA-VL (près de 167 000 colis primaires). En complément, l'Andra a également établi un inventaire de réserve, en vue de réaliser des études d'adaptabilité de Cigéo, basé sur d'autres scénarios industriels prospectifs considérant, par exemple, l'allongement de la durée de fonctionnement à 60 ans d'une partie du parc actuel, un arrêt anticipé du traitement des combustibles usés ou encore le stockage de certains déchets de faible activité à vie longue (FA-VL).

L'IRSN estime que les familles de colis primaires des inventaires de référence et de réserve sont bien identifiées et cohérentes avec les scénarios industriels prospectifs retenus, qui couvrent les possibilités envisagées par la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE). L'IRSN considère que les connaissances présentées relatives à l'inventaire de référence sont appropriées pour dimensionner l'installation et établir la démonstration de sa sûreté. Toutefois, des incertitudes pouvant impacter le nombre d'alvéoles et les chroniques de stockage subsistent, en particulier sur les volumes de colis primaires de déchets dont le conditionnement reste à définir (boues de STE2, colis PIVIC…), les modes de stockage (avec ou sans conteneur) et le traitement des combustibles usés MOX et du CEA (engagement 2024-E2). Ces incertitudes devront être accommodées par le caractère flexible de l'installation, qui constitue un point d'attention de l'expertise GP2. Concernant les spécifications préliminaires d'acceptation des colis primaires, l'IRSN estime satisfaisants la démarche d'élaboration ainsi que le choix des thématiques à la base de leur structuration. S'agissant des données présentées pour l'inventaire de réserve, celles-ci apparaissent comme globalement suffisantes pour fonder les études d'adaptabilité de Cigéo aux scénarios industriels prospectifs retenus et, le cas échéant, au stockage des déchets FA-VL. Le stockage potentiel du plutonium séparé et des rebuts de MOX appelle cependant une feuille de route pour étudier sa faisabilité (engagement 2024-E1). De manière générale, l'IRSN estime que l'évaluation des dates de réception des derniers colis, tant pour l'inventaire de référence que pour l'inventaire de réserve, comporte de fortes incertitudes. En outre, l'IRSN rappelle que la démarche globale d'élaboration de l'inventaire radiologique, inchangée depuis le

dossier d'options de sûreté (DOS), est satisfaisante ; celle pour établir l'inventaire en substances toxiques chimiques à considérer pour les études d'impact de Cigéo mérite en revanche d'être consolidée (engagement 2024-E3).

Les conséquences présentées par l'Andra d'éventuelles évolutions de la politique énergétique qui conduiraient au stockage de l'inventaire de réserve ou d'un « inventaire de réserve augmenté » tenant compte des principales évolutions de politique énergétique récemment annoncées (allongement de la durée de fonctionnement à 60 ans de l'ensemble du parc actuel, mise en service de six EPR 2) ont été évaluées par l'IRSN pour cette expertise GP1 en termes principalement d'emprise du stockage. Selon les scénarios étudiés, l'emprise du stockage pourrait dépasser de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres les limites actuelles de la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS), tout en restant dans la zone de transposition dans laquelle la faisabilité d'un stockage a été montrée en 2005. Aussi, l'IRSN n'a pas identifié, à ce stade de l'examen (GP1), d'élément de connaissances relatives à la géologie qui remette en cause l'adaptabilité de Cigéo aux inventaires de réserve présentés par l'Andra. L'impact sur la sûreté de l'extension du stockage à des zones où les valeurs des critères de choix de site seraient différentes de celles retenues pour définir la ZIOS, en tenant compte d'incertitudes relatives à l'inventaire ainsi qu'aux aléas de construction de l'installation, devra néanmoins être évalué (engagement 2024-E16).

2. SITE DE MEUSE/HAUTE-MARNE ET ROCHE HOTE

L'Andra a réalisé de nouvelles caractérisations hydrogéologiques et géotechniques en surface et sub-surface depuis le DOS expertisé en 2017, en particulier concernant les calcaires du Barrois au niveau de la zone descenderie. L'IRSN considère que ces nouvelles caractérisations sont convenables mais nécessitent d'être poursuivies afin notamment de pouvoir bien appréhender le fonctionnement de l'aquifère du Barrois (engagement 2024-E4) et de détecter toute cavité susceptible d'impacter la stabilité des futurs bâtiments (engagement 2024-E6). Les investigations complémentaires au niveau de la zone puits, prévues mais ayant dû être reportées, devront être réalisées dans les meilleurs délais (engagement 2024-E5).

Par ailleurs, l'IRSN souligne le travail d'ores et déjà conséquent réalisé pour établir un état initial radiologique et chimique de l'environnement du projet Cigéo et prend note de la nouvelle campagne prévue, qui devra permettre d'actualiser et compléter cet état initial (engagement 2024-E7). S'agissant des niveaux d'aléas naturels susceptibles d'impacter Cigéo, l'IRSN considère que les aléas inondation, vent et tornade sont évalués de manière satisfaisante. L'estimation des valeurs extrêmes de température et de neige devra, selon l'IRSN, tenir compte de données issues de périodes de retour plus importantes ainsi que de davantage de mesures historiques représentatives des conditions du site (engagements 2024-E8 et 2024-E9). Il conviendra enfin de tenir compte du changement climatique, en termes de définition des niveaux d'aléas susceptibles d'évoluer et de capacité de modifier l'installation pour y faire face (engagement 2024-E8).

Concernant le sous-sol du site de Meuse/Haute-Marne, l'Andra a réuni les connaissances suffisantes pour évaluer la sûreté de Cigéo au stade du DDAC, relatives notamment à la tectonique du site, à son contexte structural et à l'évolution géoprospective. Par ailleurs, l'IRSN convient de l'absence de ressources naturelles d'intérêt au droit du site. Des structures profondes identifiées par méthode géophysique en 2010 dans le nord de la zone d'implantation de l'installation nécessitent cependant, selon l'IRSN, la mise en œuvre d'un programme de reconnaissance de la formation hôte au droit de ces structures afin d'adapter, si besoin, la conception de l'installation souterraine. Ce point fait l'objet de la recommandation n°1 en annexe au présent avis.

S'agissant de l'hydrogéologie des aquifères de l'Oxfordien et du Dogger, l'IRSN encourage l'Andra à poursuivre l'amélioration de leur représentation dans le modèle hydrogéologique, en tenant compte notamment des données qu'elle prévoit d'acquérir via des forages sur l'Oxfordien (en particulier sur la « série grise ») et sur le Dogger, ainsi que des évolutions géoprospectives intégrant le changement climatique.

Concernant enfin les propriétés initiales de la roche hôte du Callovo-Oxfordien, l'IRSN considère que la base de connaissances établie par l'Andra relative aux processus de confinement hydrodynamique et chimiques d'insolubilisation et de sorption des espèces au sein de la roche hôte du Callovo-Oxfordien constitue un référentiel de qualité en appui à sa démonstration de sûreté. L'IRSN considère toutefois que l'influence possible d'une surpression d'origine hydraulique, combinée avec une valeur de conductivité hydraulique enveloppe des mesures réalisées, devra être étudiée au titre d'une étude de sensibilité de la performance globale du système de stockage tenant compte, notamment, des scénarios considérant un court-circuit hydraulique de la roche hôte (engagement 2024-E10).

3. ÉVOLUTION DES COMPOSANTS DU SYSTEME DE STOCKAGE

Le système de stockage en formation géologique profonde est constitué des colis de déchets, d'éléments ouvragés argileux (noyaux de scellement, remblais), métalliques ou cimentaires (conteneurs de stockage, chemisages ou génie civil des ouvrages…) et de la roche hôte. Les propriétés initiales de ces composants sont amenées à évoluer sous l'effet des perturbations transitoires thermiques, hydrauliques, mécaniques et chimiques auxquelles ils seront soumis.

S'agissant des perturbations géomécaniques dues à l'implantation de l'installation de stockage, l'Andra présente un état des connaissances satisfaisant sur les perturbations thermo-hydromécaniques induites par les alvéoles de stockage de déchets HA et sur l'évolution à long terme de la zone de roche endommagée autour des alvéoles MA-VL. Quelques éléments restent à consolider, relatifs notamment à l'influence possible des différences lithologiques ou de profondeur entre le niveau principal du laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne et celui de Cigéo. Compte tenu de l'importance pour la sûreté après-fermeture d'un scellement performant des puits d'accès à l'installation souterraine, un point particulier d'attention réside dans la méthode de creusement qui sera retenue pour les puits. A cet égard, l'IRSN considère que cette méthode devra relever des meilleures techniques disponibles et ne devra pas créer plus d'endommagement de la roche qu'une méthode d'abattage mécanique. Ce point fait l'objet de la recommandation n°2 en annexe au présent avis.

S'agissant du transitoire hydraulique-gaz, l'enjeu principal est de s'assurer que la pression qui résulte d'une production importante de gaz produit par corrosion anoxique et par radiolyse après la fermeture du stockage ne conduise pas à fracturer « en grand » la roche hôte. Le modèle numérique utilisé pour simuler ce transitoire a été amélioré, notamment par la prise en compte de pressions capillaires d'entrée de gaz non nulles, sans toutefois avoir fait l'objet d'une validation expérimentale complète. Ce modèle conduit à une estimation médiane (i.e. non pénalisante) de la pression maximale de gaz dans le stockage inférieure au seuil de fracturation « en grand » de la roche hôte. Cependant, il conduit à une valeur voisine de ce seuil dans le cas d'une combinaison d'hypothèses jugée très peu réaliste par l'Andra, sans que l'incertitude sur ce résultat ne soit connue précisément. A cet égard, l'IRSN considère qu'il est nécessaire d'une part, de poursuivre la validation du modèle numérique et de préciser ses différentes incertitudes (sur la phénoménologie prise en compte, les nombreux paramètres utilisés, le « terme source gaz », etc.) et d'autre part, de définir une exigence relative à la pression de gaz à ne pas dépasser, qui tienne compte d'une marge par rapport au seuil de fracturation de la roche et qui fasse l'objet de vérifications *in situ* au fur et à mesure de la construction de Cigéo en termes de résistance de la roche (engagements 2024-E13 et 2024-E14).

S'agissant des effets des perturbations chimiques sur les propriétés de confinement de la roche hôte, l'IRSN estime que l'évaluation des conséquences présentée par l'Andra pour la perturbation alcaline provenant des bétons et pour le panache salin issu de déchets MA-VL est globalement satisfaisante. Les travaux en cours relatifs aux espèces complexantes issues de la dégradation des composés organiques présents dans les composants précités constitue en outre une avancée notable pour apprécier l'influence de ces espèces sur la mobilité des radionucléides.

Concernant l'évolution des colis, des matériaux cimentaires et des aciers, l'Andra retient, pour les colis primaires de l'inventaire de référence et de réserve, des modèles de relâchement des radionucléides et des valeurs de paramètres associées cohérents avec l'état des connaissances relatives à la dégradation des matériaux constituant les colis primaires. S'agissant des matériaux cimentaires, l'Andra prévoit d'utiliser, pour les soutènements/revêtements des galeries et alvéoles MA-VL ainsi que pour les massifs d'appui des scellements, un béton de type Portland pour lequel elle dispose de recherches de qualité permettant une bonne connaissance des perturbations chimiques et des conséquences mécaniques à court, moyen et long termes. L'IRSN estime qu'un programme de développement serait nécessaire dans le cas où les bétons bas pH seraient de nouveau envisagés, afin de s'assurer que la formulation retenue permette d'atteindre les performances visées. S'agissant des aciers des chemisages des alvéoles HA et des conteneurs de stockage des déchets HA, l'IRSN constate que la première formulation du matériau cimentaire prévu dans l'espace annulaire entre la roche et le chemisage, testée par l'Andra au stade du DDAC, conduit à des vitesses de corrosion significatives, qui ne permettent pas de garantir les fonctions mécaniques et d'étanchéité attribuées à ces composants. L'IRSN prend note du programme de développement en cours avec d'autres formulations pour ce matériau et de premiers résultats de vitesses de corrosion plus faibles. Il importe que ce programme, qui devra permettre de disposer de résultats probants pour s'assurer du bon dimensionnement des composants avant le creusement du premier alvéole HA, soit précisé en vue de l'examen du GP3 (engagement 2024-E12).

Concernant les scellements, dont la fonction principale est de « s'opposer à la circulation de l'eau » dans le stockage, l'Andra retient à présent des concepts de référence « passants au gaz » pour diminuer la pression de gaz dans le stockage. L'IRSN constate que ces concepts sont encore au stade des principes de conception, avec pour composant principal un noyau argileux dont la composition exacte reste à définir. La mise en place de démonstrateurs de scellement de descenderie et de galerie est prévue dès le début de la construction de Cigéo. La resaturation d'un scellement de descenderie étant plus rapide que celle d'un scellement de galerie, un début de performance hydraulique devrait pouvoir y être observé pendant la phase pilote. L'IRSN estime qu'une synthèse des résultats de ces démonstrateurs devra être présentée pour le bilan de la phase pilote afin de consolider le concept de référence complet de chaque type de scellement (puits, descenderies et galeries), incluant toutes les étapes de leur réalisation, et pour les liaisons surface-fond, les performances atteintes (engagement 2024-E15).

4. CONCLUSION

En conclusion, l'IRSN estime que l'Andra a développé un socle de connaissances sur les colis de déchets, le site de Meuse/Haute-Marne, la formation du Callovo-Oxfordien et les matériaux cimentaires, qui réunit des données suffisantes pour l'évaluation de la sûreté de Cigéo au stade du DDAC. Ces connaissances reposent sur des caractérisations hydrogéologiques et géotechniques détaillées, une évaluation pertinente des aléas météorologiques et une compréhension adéquate des propriétés de la roche hôte, des matériaux cimentaires et des colis, ainsi que de leur évolution sous l'effet des perturbations transitoires thermique, hydrique, mécanique et chimique.

Concernant les inventaires de référence et de réserve, les données réunies par l'Andra sont globalement pertinentes, respectivement pour établir la démonstration de sûreté de Cigéo et pour les études d'adaptabilité aux scénarios industriels prospectifs retenus. Toutefois, des incertitudes subsistent, y compris sur l'inventaire de référence, susceptibles d'impacter le nombre d'alvéoles et les chroniques de stockage, qui devront être prises en compte notamment par la flexibilité de Cigéo en exploitation. En outre, dans l'hypothèse d'un éventuel futur parc (huit EPR 2 supplémentaires, SMR, RNR, etc.), la capacité de l'installation à stocker davantage de déchets devra être évaluée sur la base de nouvelles études d'adaptabilité à des horizons temporels qui pourront être définis lorsque les décisions afférentes à ce futur parc auront été prises.

A ce stade de l'expertise du DDAC (GP1), deux points de vigilance sont identifiés par l'IRSN relatifs aux alvéoles HA et aux ouvrages de scellement, qui relèvent de la phase pilote. Pour les alvéoles HA, il importe que les éléments nécessaires à la justification du dimensionnement des composants métalliques soient apportés avant le creusement du premier alvéole HA et que l'incertitude sur d'éventuelles flexures pouvant affecter la roche hôte à l'emplacement du futur quartier de stockage HA soit levée. Pour les ouvrages de scellement, encore au stade des principes de conception, un effort est à porter sur la minimisation de l'endommagement de la roche lors du creusement des puits de l'installation au droit des futures zones à sceller, ainsi que sur la définition de ces ouvrages et sur la démonstration *in situ* de leur opérationnalité.

Le présent examen est complété par celui de la démonstration de sûreté de Cigéo en exploitation et après fermeture dans le cadre respectivement des expertises GP2 et GP3.

IRSN
Le Directeur général
Par délégation
Delphine PELLEGRINI
Adjointe au Directeur de l'environnement

ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2024-00051 DU 12 AVRIL 2024

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande que l'Andra mette en œuvre un programme de reconnaissance du Callovo-Oxfordien dans le nord de la ZIOS (quartiers de stockage HA) à l'aplomb des failles nord-sud identifiées dans le Trias-Lias sur la sismique 3D dans le but de lever le doute, en vue du bilan de la phase pilote et en tout état de cause avant le creusement des galeries de liaison qui desserviront le quartier de stockage HA, sur l'éventuel impact de ces failles sur les propriétés du Callovo-Oxfordien.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande que l'Andra présente, avant le creusement des puits, la méthode de creusement qu'elle retient, au moins localement au droit des futures zones à sceller, pour ne pas créer plus d'endommagement de la roche qu'avec une méthode de creusement mécanique.

ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2024-00051 DU 12 AVRIL 2024

Engagements de l'exploitant pris par lettre Andra DG-24-0123 du 7 mars 2024

Engagement n° 2024-E1

En complément des études d'adaptabilité basées sur l'inventaire de réserve dont le contenu a été validé dans le cadre de la 4ème édition du PNGMDR, l'Andra établira, en amont de l'enquête publique, une feuille de route pour la réalisation d'étude complémentaire relative à la faisabilité du stockage du Pu séparé et des rebuts de Mox.

Engagement n° 2024-E2

Pour la mise à jour du dossier de DAC avant l'enquête publique, l'Andra quantifiera pour les familles de colis primaires de l'inventaire de référence, les incertitudes, notamment en termes de conditionnement, pouvant impacter le nombre et le volume de colis primaires.

Engagement n° 2024-E3

L'Andra présentera avant l'enquête publique, un programme d'études visant à consolider l'inventaire en substances toxiques chimiques à considérer pour l'étude d'impact de Cigéo. Elle établira ce programme au regard :

- des substances chimiques fortement toxiques ou introduites en quantité importante dans le stockage, issues des différents composants des colis primaires de déchets (déchets, matrice et contenant) ;
- des formes physico-chimiques les plus probables et/ou toxiques de ces substances dans le stockage ;
- d'une discrimination du niveau de confiance attribué aux données déclarées par les producteurs de déchets et de marges associées.

Engagement n° 2024-E4

L'Andra transmettra, au plus tard au début des terrassements des plateformes en zone descenderie et en zone puits lors de la construction initiale, les résultats des investigations et études complémentaires qui auront été mises en œuvre pour compléter la caractérisation des calcaires du Barrois. La synthèse de ces travaux visera notamment à distinguer les différentes nappes présentes en zone puits et en zone descenderie.
Sur la base de l'analyse des résultats des travaux précédents et des expérimentations prévues sur les verses, l'Andra proposera un programme de surveillance des nappes du Barrois actualisé au plus tard lors de la mise en service.

Engagement n° 2024-E5

L'Andra transmettra les résultats des investigations géotechniques prévues sur la zone puits, dans les 12 mois qui suivent la fin de ces investigations.

Engagement n° 2024-E6

A la suite des travaux de caractérisation qui seront réalisés pendant la phase d'aménagements préalables, l'Andra conduira des investigations complémentaires, au niveau des plateformes devant recevoir le bâtiment EP1 et la tête de la descenderie colis ainsi que, en fonction des enjeux de sûreté, au droit des infrastructures associées aux puits, en vue de prévenir l'instabilité de ces ouvrages. L'Andra définira dans ce cadre les moyens de caractérisation dont des investigations géophysiques afin de disposer d'une vision globale des calcaires du barrois au droit des ouvrages précités. Les rapports de synthèse des résultats des investigations et des traitements réalisés le cas échéant seront communiqués à l'IRSN avant la coulée des premiers bétons des ouvrages concernés.

Engagement n° 2024-E7

L'Andra présentera, préalablement à la mise en service, les résultats de la nouvelle campagne de caractérisation de l'état initial radiologique et chimique de l'environnement prévue par l'Andra dans le secteur de Meuse/Haute-Marne. Cette campagne :

- intégrera les éléments susceptibles d'être présents dans l'environnement, naturellement ou du fait d'activités humaines non liées à Cigéo. Pour les éléments non détectés jusqu'à présent, une analyse croisée des impacts avec les techniques analytiques existantes et les coûts afférents sera réalisée ;
- inclura en particulier les éléments issus des verses si les recherches de leur effet sur l'environnement en démontrent la nécessité ;
- sera réalisée dans les différents compartiments de l'environnement, à l'aide des meilleures techniques disponibles.

Engagement n° 2024-E8

Afin de tenir compte de l'impact du changement climatique tout au long de la durée d'exploitation de Cigéo, l'Andra, préalablement à la mise en service :

- définira des niveaux d'aléas hydrométéorologiques représentatifs de situations climatiques envisageables à la fin de la durée d'exploitation ;
- justifiera la suffisance des températures retenues pour sa démonstration de sûreté en regard de températures associées à une fréquence de dépassement cible de 10-4/an et estimées à l'aide de données récentes, en tenant compte de l'impact du changement climatique au travers de scénarios pénalisants de projection climatique, pour un horizon temporel cohérent avec la durée d'exploitation de l'installation ;
- pour les aléas définis précédemment, présentera des éléments relatifs à la capacité d'adaptation de l'installation afin d'assurer une protection face à des niveaux d'aléas susceptibles d'évoluer avec le changement climatique ;
- présentera une démarche détaillée concernant le suivi de l'évolution des connaissances sur le changement climatique et son impact sur les niveaux d'aléas retenus pour l'installation.

Engagement n° 2024-E9

Afin de compléter l'évaluation des risques liés à la neige, l'Andra réalisera, préalablement à la mise en service, une étude approfondie des données disponibles sur les niveaux de neige historiques ayant pu être observés dans un rayon représentatif des conditions du site.

Engagement n° 2024-E10

En marge des SEN et SEA, l'Andra réalisera en termes d'analyse de robustesse de la performance globale du système de stockage, une évaluation intégrant simultanément (i) la conductivité hydraulique enveloppe du Callovo-Oxfordien en grand déduite de l'analyse statistique des mesures et (ii) un gradient hydraulique vertical tenant compte d'une surpression d'origine hydraulique. Elle présentera les enseignements associés dans le cadre de l'instruction relative au GP3.

Engagement n° 2024-E11

L'Andra retiendra une méthode de creusement des puits au droit des futures zones à sceller, ne conduisant pas à un endommagement du Callovo-Oxfordien (plus particulièrement dans l'unité Silto-carbonatée) susceptible de remettre en cause l'atteinte de la performance des scellements de puits. Ce choix sera fait au plus tard à l'issue des études PRO/EXE. Il reposera notamment sur une analyse croisée des méthodes de creusement intégrant, outre l'impact sur l'endommagement au mieux des connaissances scientifiques et technologiques, la capacité de traitement du Callovo-Oxfordien au moment de la réalisation des scellements de puits.

Engagement n° 2024-E12

L'Andra précisera, d'ici la fin juin 2024, son programme de recherche en phase industrielle pilote sur la corrosion des composants métalliques des alvéoles HA. Ce programme permettra de consolider le dimensionnement des composants de l'alvéole HA, avant le creusement du premier alvéole du quartier pilote HA destiné à recevoir des colis HA0.

Engagement n° 2024-E13

L'Andra définira en vue du creusement en zone souterraine:

- une exigence relative à la pression maximale de gaz à ne pas dépasser dans le stockage, qui tienne compte d'une marge par rapport au seuil de fracturation « en grand » du Callovo-Oxfordien ;
- un programme de caractérisation local de l'état de contrainte in situ et corrélativement de tenue à la fracturation sous chargement fluide, au fur et à mesure de la construction de l'installation souterraine afin de vérifier le respect de l'exigence de pression maximale de gaz.

Elle présentera la méthodologie de mesure retenue, en vue d'une mise en œuvre opérationnelle avant le creusement des premiers alvéoles destinés à recevoir les colis de stockage.

Engagement n° 2024-E14

Concernant l'évaluation de la pression maximale de gaz attendue dans le stockage, en vue du bilan de la phase industrielle pilote, l'Andra :

- évaluera la nécessité de prendre en compte les effets de l'hystérésis, le cas échéant complètera le modèle de calcul utilisé, puis poursuivra la vérification numérique et la validation expérimentale de ce modèle sur des ouvrages représentatifs ;
- affinera, à l'aide de ce nouveau modèle, l'étude de sensibilité afin d'apprécier l'influence des différents paramètres (physiques et/ou numériques), phénomènes et autres incertitudes telles que le terme source, et ainsi de s'assurer que la pression maximale de gaz calculée dans le stockage respecte l'exigence relative au seuil de fracturation qui aura été définie.

Engagement n° 2024-E15

L'Andra présentera, en vue du bilan de la phase industrielle pilote, une synthèse des résultats issus notamment des démonstrateurs de scellement in situ mis en œuvre, permettant de consolider le concept de référence complet pour chaque type de scellement (puits, descenderies et galeries). Ceci inclura :

- en termes opérationnel, la réalisation depuis le retrait des portions de revêtement/soutènement jusqu'à la mise en œuvre des massifs d'appui en béton et/ou des remblais, incluant les moyens d'auscultation préalable de la roche et le contrôle de la bonne exécution des travaux, ainsi que la qualification des matériaux et des composants ;
- pour les liaisons surface-fond, les performances atteintes.

Engagement n° 2024-E16

Dans le cas où les évolutions de politiques énergétiques conduiraient à identifier, en fin de la phase industrielle pilote (Phipil), des scénarios qui pourraient amener à étendre le stockage au-delà de la ZIOS, l'Andra analysera l'impact de cette extension sur la sûreté. Ces analyses intégreront des marges permettant de prendre en compte différentes incertitudes notamment en termes d'inventaire. Elles seront réalisées en amont du bilan de la Phipil.