



**Avis n° 2025-AV-016 de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection
du 25 novembre 2025, appelé par les dispositions de l'article L. 542-10-1
du code de l'environnement, relatif à la demande d'autorisation de création
de l'installation nucléaire de base dénommée Cigéo déposée par l'Andra**

L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection,

Vu la directive 2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs ;

Vu le code de l'environnement, notamment les titres IV et IX de son livre V et en particulier ses articles L. 542-1-1, L. 542-1-2, L. 542-10-1, L. 542-12, L. 592-27, L. 593-7, L. 593-8 et L. 593-14 ainsi que R. 593-47, et D. 542-90 à D. 542-92 ;

Vu la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs codifiée ;

Vu la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs codifiée ;

Vu la loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016 précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue codifiée ;

Vu l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base ;

Vu la décision n° 2015-DC-0532 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 17 novembre 2015 relative au rapport de sûreté des installations nucléaires de base ;

Vu le guide de sûreté n° 1 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 12 février 2008 relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde ;

Vu l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1^{er} février 2006 sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (HAVL) menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, et liens avec le PNGDR-MV (Plan National de Gestion des Déchets Radioactifs et des Matières Valorisables) ;

Vu l'avis n° 2010-AV-0084 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 5 janvier 2010 sur le dossier de l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs (Andra) relatif à la proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scénarios d'implantation en surface pour un stockage réversible en formation géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2011-AV-129 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 26 juillet 2011 sur le dossier relatif au stockage réversible profond de déchets de haute et moyenne activité à vie longue déposé par l'Andra conformément à l'article 11 du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 ;

Vu l'avis n° 2013-AV-0179 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 mai 2013 sur les documents produits par l'Andra depuis 2009 relatifs au projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2016-AV-0256 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 9 février 2016 sur les études relatives à l'évaluation du caractère valorisable des matières radioactives remises en application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018 ;

Vu l'avis n° 2016-AV-0259 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 25 février 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de haute et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL) remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018 ;

Vu l'avis n° 2016-AV-264 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 mars 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018 ;

Vu l'avis n° 2016-AV-0267 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 31 mai 2016 relatif à la réversibilité du stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2018-AV-300 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 janvier 2018 relatif au dossier d'options de sûreté présenté par l'Andra pour le projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2020-AV-0369 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1^{er} décembre 2020 sur les études concernant la gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL), remises en application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018, en vue de l'élaboration du cinquième plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs ;

Vu la lettre ASN CODEP-DRC-2015-004834 du 7 avril 2015 relative au dossier « maîtrise des risques en exploitation » ;

Vu la lettre ASN CODEP-DRC-2016-005220 du 20 juin 2016 relative au dossier « plan de développement des composants du projet Cigéo » ;

Vu la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base Cigéo déposée par l'Andra le 16 janvier 2023 auprès de la ministre de la transition énergétique ;

Vu la saisine du ministère de la transition énergétique référencée DGPR/SRT/MSNR/BF/2023-040 du 28 mars 2023 ;

Vu la saisine de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire par l'Autorité de sûreté nucléaire référencée CODEP-DRC-2023-030596 du 7 juin 2023 ;

Vu les saisines du groupe permanent d'experts pour les déchets par l'Autorité de sûreté nucléaire référencées CODEP-DRC-2024-010770 du 8 mars 2024 et CODEP-DRC-2024-017460 du 4 novembre 2024 ;

Vu la saisine du groupe permanent d'experts pour les déchets par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection référencée CODEP-DRC-2025-022314 du 13 mai 2025 ;

Vu l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire n° 2024-00051 du 12 avril 2024 portant sur l'évaluation des données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo ;

Vu l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire n° 2024-00167 du 29 novembre 2024 portant sur l'évaluation de la sûreté en exploitation de Cigéo ;

Vu l'avis de la direction de la recherche et de l'expertise en environnement de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection 2025-00056 du 6 juin 2025 portant sur la sûreté en après-fermeture de Cigéo ;

Vu les avis et les recommandations du groupe permanent d'experts pour les déchets, relatifs au dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, établis à l'issue des réunions des 24 et 25 avril 2024, 10 et 11 décembre 2024 et 25 et 26 juin 2025 ;

Vu les lettres présentant les engagements de l'Andra référencées DG-24-0123 du 7 mars 2024, CG-AMOA-LET-24-0033 du 18 novembre 2024 et CG-AMOA-LET-25-0007 du 28 mai 2025 ;

Vu le document relatif aux « Objectifs et critères de réussite de la phase industrielle pilote - Volet technique » remis par l'Andra au titre de l'article 36 de l'arrêté du 9 décembre 2022 susvisé ;

Vu les résultats de la consultation sur le projet ayant conduit au présent avis, réalisée du 3 au 30 octobre 2025, auprès des parties prenantes ayant participé au dialogue technique sur le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo ou aux ateliers de concertation sur les saisines de l'IRSN et du groupe permanent d'experts pour les déchets sur ce dossier, ainsi qu'auprès des membres du Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN),

Considérant ce qui suit :

- La gestion des déchets radioactifs est un enjeu de sûreté nucléaire et de radioprotection qui doit être envisagé sur le très long terme, et il est nécessaire que l'ensemble de ces déchets dispose d'une filière de gestion sûre.
- La loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 susvisée dispose que « les déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou en faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde ».
- La directive du 19 juillet 2011 susvisée, dans son considérant 23, mentionne qu'« il est communément admis que sur le plan technique, le stockage en couche géologique profonde constitue, actuellement, la solution la plus sûre et la plus durable en tant qu'étape finale de la gestion des déchets de haute activité ».
- Le dossier de demande d'autorisation de création du centre de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde Cigéo, déposé par l'Andra, est l'aboutissement d'un processus de développement de plusieurs décennies, s'étant déroulé par étapes, tel que recommandé par le guide de sûreté n° 1 de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) susvisé. Il fait notamment suite à un ensemble d'études techniques sur lesquelles l'ASN s'est prononcée par les avis susvisés et au dossier d'options de sûreté déposé par l'Andra en 2016, sur lequel l'ASN a rendu l'avis n° 2018-AV-0300 susvisé.
- La version préliminaire du rapport de sûreté établie dans le cadre d'une demande d'autorisation de création doit comprendre des éléments d'un niveau de détail permettant, compte tenu de l'exploitation prévue de l'installation, d'avoir la raisonnable assurance que la démonstration de sûreté nucléaire sera confirmée au moment de la remise de la version du rapport de sûreté établie pour la demande d'autorisation de mise en service de l'installation nucléaire de base (INB), tel qu'indiqué dans l'article 3.1.6 de l'annexe à la décision n° 2015-DC-0532 susvisée.
- Le présent avis est rendu conformément aux dispositions de l'article L. 542-10-1 du code susvisé, à l'issue de la phase d'instruction technique du dossier de demande d'autorisation de création qui s'est tenue entre janvier 2023 et juin 2025.
- Les saisines susvisées de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) puis du groupe permanent d'experts pour les déchets par l'ASN puis l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) ont fait l'objet de concertation avec les parties prenantes en vue de recueillir leurs préoccupations et d'en tenir compte dans le cadre de l'instruction technique.
- L'expertise réalisée par l'IRSN puis l'ASNR a fait l'objet d'un dialogue technique avec des représentants de la société civile dans le cadre d'une démarche d'ouverture à la société portée par l'IRSN puis l'ASNR, le Comité local d'information et de suivi (CLIS) du laboratoire de Bure et l'Association Nationale des Comités et Commissions Locales d'Information (Anccli).
- Le présent avis a fait l'objet d'une consultation des parties prenantes engagées dans les concertations et le dialogue technique susmentionnés du 3 octobre au 30 octobre 2025.
- Cet avis, qui synthétise la position de l'ASNR à l'issue de l'instruction technique du dossier de demande déposé par l'Andra, sera présenté à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques conformément aux dispositions de l'article L. 542-10-1 susvisé. L'ASNR considère qu'il a également vocation à éclairer les parties prenantes et le public qui seront amenés à s'exprimer dans le cadre de la procédure d'autorisation au titre des consultations prévue par ce même article, et de l'enquête publique prévue par l'article L. 593-8 susvisé.

- L'ASNR se prononce sur les questions relatives à la sûreté nucléaire et à la protection des personnes et de l'environnement que présente le projet de stockage géologique Cigéo, pour chacune des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive et la phase de long terme ; à cet égard, le présent avis porte sur le dossier de demande d'autorisation de création et les éléments de réponse apportés dans le cadre de son instruction technique. Il s'appuie sur les expertises réalisées par l'IRSN puis par la direction de la recherche et de l'expertise en environnement de l'ASNR ainsi que sur les trois avis susvisés remis par le groupe permanent d'experts pour les déchets.
- A l'issue de la procédure d'instruction de la demande d'autorisation de création de Cigéo et si celle-ci se conclut favorablement, l'ASNR sera chargée d'édicter les prescriptions techniques prises en application du décret d'autorisation de création de l'INB Cigéo ; à cet égard, le présent avis identifie les principaux sujets susceptibles de faire l'objet de telles prescriptions, et les échéances correspondantes, au regard des enjeux identifiés dans le cadre de l'instruction technique du dossier. C'est notamment le cas de certains compléments spécifiques qui seront appelés préalablement au franchissement de jalons clés du projet au cours de la construction et jusqu'à la mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote.
- L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé dispose qu' « afin de garantir la participation des citoyens tout au long de la vie d'une installation de stockage en couche géologique profonde, l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs élabore et met à jour, tous les cinq ans, en concertation avec l'ensemble des parties prenantes et le public, un plan directeur de l'exploitation de celle-ci ».
- Lors de la consultation susvisée sur le présent avis, les parties prenantes ont exprimé des préoccupations relatives à l'acquisition de la démonstration de sûreté vis-à-vis de certains enjeux, tels que les scellements, la gestion des déchets bituminés, ou la maîtrise des risques d'explosion et d'incendie, à l'inventaire susceptible d'être autorisé, au choix technique fait par l'Andra concernant le dispositif de descente des colis de déchets radioactifs dans l'installation souterraine, au suivi des engagements pris par l'Andra, aux futures opportunités d'expression et de participation lors des différentes phases de développement et d'autorisation du projet, ainsi qu'aux conditions de déroulement de l'enquête publique.

Rend l'avis suivant :

Concernant le dossier soumis à l'appui de la demande d'autorisation de création de Cigéo

Considérant que l'instruction technique de la demande d'autorisation de création de Cigéo a mis en lumière les points suivants :

- L'Andra a acquis un socle de connaissances suffisant relatif à la formation hôte constituée par la couche argileuse du Callovo-Oxfordien (COx) ainsi qu'aux matériaux cimentaires et aux colis de déchets pour fonder, au stade de la demande d'autorisation de création, la démonstration de sûreté de l'installation Cigéo durant son exploitation et après sa fermeture définitive.
- L'inventaire de référence retenu par l'Andra, rappelé ci-dessous, comprend 19 familles de colis de déchets de haute activité (HA) et 80 familles de colis de déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL).
- La démarche de sûreté en exploitation et en après fermeture retenue par l'Andra est satisfaisante sur le plan des principes.
- La démonstration de sûreté des installations de surface et souterraine, telle qu'attendue en vue de la mise en service limitée à la phase industrielle pilote, nécessite des compléments sur certains points détaillés dans la suite du présent avis, notamment afin de confirmer la maîtrise des risques d'incendie et d'explosion, les modalités de gestion des déchets bitumés ainsi que les performances des scellements.
- Ces compléments ou éléments de consolidation identifiés comme nécessaires à l'issue de l'expertise du dossier de demande d'autorisation de création ont pour le plus grand nombre fait l'objet d'engagements de l'Andra en vue des prochaines étapes du développement de Cigéo. En l'absence d'engagement, ils pourront faire l'objet de demandes particulières de l'ASNR.

- Le système de stockage, dans l'architecture retenue à ce stade, présente une bonne capacité de confinement en après-fermeture, et est robuste vis-à-vis des événements perturbateurs considérés et des incertitudes identifiées.

Considérant par ailleurs que :

- L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé dispose que « *l'exploitation du centre débute par une phase industrielle pilote permettant de conforter le caractère réversible et la démonstration de sûreté de l'installation, notamment par un programme d'essais in situ* ».
- L'article D. 542-91 du code de l'environnement susvisé dispose que « *l'inventaire sur lequel l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs se fonde pour mener les études et recherches relatives à la conception du centre de stockage prévu à l'article L. 542-10-1 comprend, pour l'application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, un inventaire de référence et un inventaire de réserve. [...] Le centre de stockage est conçu pour accueillir les déchets de l'inventaire de référence* ». A cet égard, l'Andra a retenu un inventaire de référence qui prend en compte les déchets existants et les déchets qui seront produits à l'avenir par les installations nucléaires existantes (comprenant les réacteurs de production d'électricité d'EDF dont l'EPR de Flamanville, les usines du cycle du combustible d'Orano, les installations de recherche du CEA...) ainsi que ceux qui seront produits par les installations nucléaires autorisées à fin 2016 en cours de construction ou de mise en service (ITER, réacteur expérimental Jules Horowitz), jusqu'au terme prévisible de leur fonctionnement (hypothèse du scénario SR2¹ retenue), puis de leur démantèlement.
- L'inventaire de réserve vise à permettre la prise en compte d'éventuelles évolutions de stratégies industrielles ou de politique énergétique ainsi que les incertitudes liées notamment à la mise en place de nouvelles filières de gestion.
- Conformément à l'article R. 593-47 du code de l'environnement susvisé, tout accroissement de la capacité maximale de Cigéo constituerait une modification substantielle de l'installation et nécessiterait à ce titre une nouvelle autorisation.
- L'Andra a apporté des éléments de réponse à l'ensemble des demandes et engagements pris dans le cadre des instructions antérieures au dépôt de la demande d'autorisation de création de Cigéo.
- Les parties prenantes consultées ont souligné la nécessité que le respect de ces engagements, sous le contrôle de l'ASNR, fasse l'objet d'une information transparente et régulière des parties prenantes et du public.

L'ASNR estime que :

- **Le contenu de la version préliminaire du rapport de sûreté comprend les éléments requis par la réglementation, avec un niveau de détail permettant d'avoir la raisonnable assurance que la démonstration de sûreté nucléaire sera confirmée au moment de la remise de la version du rapport de sûreté établie pour la demande d'autorisation de mise en service de Cigéo, limitée à la phase industrielle pilote.**
- **La démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, pour les phases d'exploitation et d'après fermeture, a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique.**
- **L'inventaire de référence sur lequel s'est fondé l'Andra pour mener les études et recherches relatives à la conception de Cigéo constitue une base robuste pour définir l'inventaire des déchets autorisés à être stockés dans Cigéo. Cet inventaire devra être encadré par le décret d'autorisation de création.**

¹ Les différents scénarios (SR1, SR2, SNR...) sont décrits dans l'édition 2018 de l'Inventaire national établi par l'Andra. Les hypothèses structurantes retenues pour le scénario SR2 sont : la poursuite de la production électronucléaire, une durée de fonctionnement uniforme de 50 ans de l'ensemble des réacteurs, un renouvellement progressif des réacteurs du parc électronucléaire actuel par des réacteurs EPR puis par des réacteurs RNR qui pourraient constituer à terme la totalité d'un futur parc et le retraitement de la totalité des combustibles usés.

- Les informations fournies par l'Andra pour l'inventaire de réserve sont suffisantes pour alimenter les études d'adaptabilité de Cigéo aux scénarios industriels prospectifs retenus. Ces études ne sont pas remises en cause par les perspectives de prolongation de l'exploitation des réacteurs de 50 à 60 ans et de création de six réacteurs EPR2.
- Les spécifications préliminaires d'acceptation des colis primaires sont, dans leur ensemble, cohérentes avec la démonstration de sûreté.
- Des compléments et éléments de consolidation, sans que ceux-ci constituent des points rédhibitoires à la délivrance d'un décret d'autorisation de création, seront nécessaires à l'acquisition complète de la démonstration de sûreté pour certaines composantes du projet, dont certaines doivent pouvoir bénéficier de la phase industrielle pilote. Ils sont attendus, comme détaillé dans la suite du présent avis, à des stades ultérieurs de développement du projet.
- Le travail de préfiguration mené par l'Andra sur la préservation de la mémoire est satisfaisant à ce stade. Il devra être poursuivi et approfondi lors des phases ultérieures de développement du projet.

Concernant les éléments à apporter avant l'enquête publique

L'ASNR note qu'au cours de l'instruction, l'Andra s'est engagée à apporter les éléments suivants préalablement à l'enquête publique, dont certains seront intégrés à la mise à jour du dossier support à la demande d'autorisation de création en vue de sa mise à l'enquête publique :

- la quantification pour les familles de colis primaires de l'inventaire de référence, des incertitudes, notamment en termes de conditionnement, pouvant impacter le nombre et le volume de colis primaires ;
- une feuille de route pour la réalisation d'études complémentaires relatives à la faisabilité du stockage du plutonium séparé et des rebuts de combustibles MOX ;
- un programme d'études visant à consolider l'inventaire en substances toxiques chimiques à considérer pour l'étude d'impact de Cigéo, prenant en compte :
 - o les substances chimiques fortement toxiques ou introduites en quantités importantes dans le stockage, issues des différents composants des colis primaires de déchets (déchets, matrices et contenants) ;
 - o les formes physico-chimiques les plus probables et/ou toxiques de ces substances dans le stockage ;
 - o une discrimination du niveau de confiance attribué aux données déclarées par les producteurs de déchets et des marges associées ;
- des compléments à l'évaluation quantitative de l'impact sanitaire et environnemental des rejets liquides de substances chimiques toxiques ;
- la contribution à la dose aux exutoires du ¹⁴C présent sous forme gazeuse dans le stockage pendant le transitoire hydraulique-gaz après fermeture pour justifier l'absence d'impact significatif ;
- la quantification pour le SEN et les SEA², les quotients de danger (QD) et excès de risque individuels (ERI) pour les substances toxiques chimiques présentes à l'exutoire ;
- la justification du nombre, de la localisation et des objectifs de performance des scellements des galeries dans l'architecture à terminaison, et en particulier les évolutions depuis le dossier d'options de sûreté (DOS). Cette justification se fera au regard des fonctions à assurer par les scellements, notamment vis-à-vis du compartimentage dans les scénarios d'intrusion humaine involontaire.

Les engagements pris par l'Andra pour la mise à jour du dossier d'autorisation de création préalablement à l'enquête publique répondent aux attentes soulevées lors de l'instruction technique. En conséquence, l'ASNR estime que le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo pourra donner lieu à l'enquête publique prévue par l'article L. 593-8 du code de l'environnement.

² le scénario d'évolution normale (SEN) ou « domaine d'évolution normale », correspond à l'évolution prévisible de l'installation et du milieu géologique, les scénarios d'évolution altérée (SEA), associés à des événements incertains mais plausibles, visent à évaluer les conséquences de dysfonctionnements de composants pouvant entraîner une dégradation de leur performance ou la perte partielle d'une fonction de sûreté

Concernant le développement du projet et les orientations pour l'encadrement réglementaire associé jusqu'à la mise en service limitée à la phase industrielle pilote

Constatant que l'Andra retient désormais les principaux jalons suivants pour le développement de Cigéo :

- un début des travaux de terrassement prévu en 2028 ;
- un début des creusements des liaisons surface-fond à l'horizon 2035 ;
- la construction des bâtiments nucléaires à l'horizon 2040 ;
- le creusement des premiers alvéoles MA-VL à l'horizon 2040 puis des premiers alvéoles HA à l'horizon 2045 ;
- la mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote, à l'horizon 2050 ;
- une phase de démantèlement et de fermeture à l'horizon 2150.

Et considérant ce qui suit :

- La construction progressive de Cigéo s'appuie sur des jalons stratégiques, rappelés ci-avant, qui délimitent des phases successives du développement du projet présentant des enjeux de sûreté spécifiques, et impliquant des dispositions techniques dédiées.
- Les franchissements de ces jalons constituent des étapes clés à l'occasion desquelles des compléments d'information et de démonstration sont attendus.
- Après la délivrance du décret d'autorisation de création, le jalon réglementaire suivant prévu par la loi est la mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote, prévue à l'horizon 2050 ; il convient par conséquent de définir des jalons intermédiaires préalablement à ce premier rendez-vous législatif.
- L'instruction technique du dossier a permis de mettre en lumière plusieurs aspects du dossier devant être complétés ou développés dans cette perspective. Ceux-ci concernent :
 - o le programme de travaux à mener en phase industrielle pilote inactive (sans stockage de déchets radioactifs) et active (stockage de déchets radioactifs), fondé sur la justification des objectifs et critères de réussite ;
 - o des compléments pour justifier la classification des scénarios incidentels et accidentels ;
 - o des compléments relatifs à l'évaluation de la maîtrise du risque incendie ;
 - o des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis du stockage en l'état des déchets bitumés ;
 - o des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque d'explosion au cours des opérations de fermeture et après fermeture des alvéoles MA-VL ;
 - o des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque d'explosion dans les alvéoles HA en phase d'exploitation ;
 - o la corrosion des matériaux métalliques des alvéoles de stockage HA ;
 - o une évaluation du scénario *What-if*³ « discontinuité traversante », en tenant compte d'une discontinuité au sein du quartier de stockage HA et de l'ensemble des radionucléides mobiles et peu mobiles d'intérêt, dont les éléments transuraniens et leur filiation ;
 - o la présentation d'une situation d'abandon du stockage pendant son fonctionnement. L'Andra identifiera, le cas échéant, les enseignements en ce qui concerne notamment les modalités d'une éventuelle fermeture préventive anticipée du stockage, permettant de limiter les conséquences de telles situations sur la sûreté à long terme ;
 - o certaines caractéristiques hydrogéologiques des couches marneuses de la série grise, de l'Oxfordien calcaire et du COx,
- L'Andra s'est engagée à prendre en compte la plupart des points cités ci-dessus.

³ Terminologie anglaise signifiant « Et si », retenue au niveau international et reprise au niveau national. Ces scénarios reposent sur des conjectures très improbables afin d'étudier la réaction et la robustesse du système de stockage.

L'ASNR considère que :

- Le calendrier de développement du projet apparaît comme réaliste, à la lumière des éléments dont dispose l'Andra aujourd'hui.
- Dans l'hypothèse de la délivrance d'un décret d'autorisation de création de l'installation, la transmission de certains des compléments, mentionnés ci-dessus et précisés en annexe de cet avis, ainsi que les échéances associées, pourront faire l'objet de prescriptions techniques qu'elle édictera, en application des dispositions de l'article R. 593-38 du code de l'environnement, ou de points d'arrêt subordonnant à son accord l'engagement de certaines opérations, en application de ce même article. Certains de ces prescriptions ou points d'arrêt pourront donner lieu à une obligation d'information de la commission locale d'information par l'Andra.
- L'Andra devra transmettre une mise à jour de la version préliminaire du rapport du sûreté de l'installation au plus tard dix ans après la publication du décret d'autorisation de création. Cette mise à jour devra intégrer les éléments identifiés au cours de l'instruction relevant de cette échéance, ainsi que les avancées et le programme d'études associés à ceux relevant d'une échéance ultérieure.

L'ASNR rappelle que la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote sera conditionnée au caractère satisfaisant des compléments et éléments de consolidation attendus avant cette échéance, ainsi que des éléments appelés par la réglementation générale, notamment le rapport de sûreté et les éléments permettant d'apprécier la conformité de l'installation réalisée avec les dispositions du décret d'autorisation.

Enfin, l'ASNR maintiendra tout au long du projet les actions de dialogue avec les parties prenantes concernées. Elle rappelle à ce titre que le public sera consulté sur le projet de décision autorisant la mise en service, limitée à la phase industrielle pilote, de Cigéo.

Elle estime par ailleurs opportun que les actions de concertation avec le public soient poursuivies lors des principaux jalons de développement du projet, rappelés ci-dessus, et préalablement à la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote de Cigéo.

Le présent avis sera publié au *Bulletin officiel* de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

Fait à Montrouge, le 25 novembre 2025.

Le collège de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection*,

Signé par :

Olivier DUBOIS

Stéphanie GUÉNOT BRESSON

Jean-Luc LACHAUME

Géraldine PINA

* Commissaires présents en séance.

Annexe

Conclusions techniques issues de l'instruction du dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo

Considérant ce qui suit :

- L'ASN a souhaité que l'expertise du dossier de demande soit organisée selon trois phases d'instruction : les données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo, la sûreté en phase d'exploitation des installations de surface et souterraine et la sûreté après fermeture.
- La phase industrielle pilote et le principe de réversibilité sont des spécificités de Cigéo définies par les dispositions de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé, et sont des sujets transverses qui ont été instruits dans chaque phase d'instruction.

L'IRSN a émis ses recommandations dans les avis n° 2024-00051 du 12 avril 2024 portant sur l'évaluation des données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo et n° 2024-00167 du 29 novembre 2024 portant sur l'évaluation de la sûreté en exploitation de Cigéo, puis la direction de la recherche et de l'expertise en environnement de l'ASNR dans son avis n° 2025-00056 du 6 juin 2025 portant sur la sûreté après fermeture.

Concernant les données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo

Connaissance du site de Meuse/Haute-Marne

Considérant ce qui suit :

- Depuis la remise du dossier d'options de sûreté en 2016, l'Andra a réalisé de nouvelles caractérisations hydrogéologiques et géotechniques en surface et subsurface, en particulier concernant les calcaires du Barrois au niveau de la zone « descenderie ».
- En 2010, l'ASN s'est prononcée sur le potentiel géothermique dans son avis 2010-AV-0084 susvisé dans lequel elle considère que « *le forage traversant le Trias réalisé au centre de la zone permet de confirmer l'absence de potentiel géothermique exploitable à son aplomb* » et en 2017 l'IRSN a rappelé, dans son rapport relatif au dossier d'options de sûreté de Cigéo que « *le secteur ne présente pas de caractère exceptionnel* » par rapport à d'autres secteurs sur le territoire français (dans les conditions technico-économiques du moment).
- Les niveaux d'aléas naturels susceptibles d'impacter Cigéo, relatifs à l'inondation, au vent et aux tornades ont été évalués par l'Andra de manière satisfaisante, mais évolueront du fait du changement climatique.
- L'Andra a réuni des connaissances suffisantes pour évaluer la sûreté de Cigéo, au stade de la demande d'autorisation de création, concernant la tectonique du site, son contexte structural et son évolution géoprospective.
- Des structures profondes identifiées par méthode géophysique en 2010 dans le nord de la zone d'implantation de l'installation, au niveau du quartier de stockage HA, nécessitent 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 et l'architecture de l'installation souterraine.
- L'Andra s'est engagée à apporter, avant le début des travaux de terrassement prévus en 2028, les résultats des investigations et études complémentaires qui auront été mises en œuvre pour compléter la caractérisation des calcaires du Barrois.

L'ASNR estime que :

- L'Andra a acquis une base de connaissances relatives au site de Meuse/Haute-Marne et à la formation du Callovo-Oxfordien (COx) suffisante pour évaluer la sûreté de Cigéo au stade de la demande d'autorisation de création.
- L'absence de ressources naturelles d'intérêt particulier ou exceptionnel au droit du site a été démontrée.
- L'Andra devra tenir compte du changement climatique en termes de définition des niveaux d'aléas susceptibles d'évoluer et de capacité à modifier l'installation pour y faire face.

- L'estimation des valeurs extrêmes de température et de neige devra tenir compte de données issues de périodes de retour plus importantes ainsi que de données issues de davantage de stations de mesures représentatives des conditions du site.
- L'Andra devra poursuivre ses efforts pour intégrer les situations d'évolution climatique perturbée dans les scénarios d'évolution géoprospective du site.
- L'Andra devra mettre en œuvre un programme de reconnaissance du Callovo-Oxfordien dans le nord de la Zone d'implantation des ouvrages souterrains (localisation des quartiers de stockage HA) à l'aplomb des structures nord-sud identifiées dans le Trias en vue de qualifier l'impact éventuel de ces structures sur les propriétés du Callovo-Oxfordien.
- Ce programme devra avoir abouti au plus tard avant le début du creusement des galeries de liaison desservant le quartier de stockage HA. L'Andra devra justifier, au plus tard lors de la remise du bilan de la phase industrielle pilote, les dispositions qu'elle prendrait en cas d'impact supposé ou avéré de ces structures.

Propriétés et évolution des composants du stockage

Considérant ce qui suit :

- L'état des connaissances développées par l'Andra concernant les perturbations géomécaniques et thermo-hydromécaniques dues à l'implantation de l'installation de stockage est satisfaisant.
- La modélisation du transitoire hydraulique-gaz, améliorée depuis le dossier d'options de sûreté, conduit, dans le cas d'hypothèses très pénalisantes, à des valeurs proches du seuil de fracturation « en grand » de la couche du Callovo-Oxfordien.
- La conception des scellements, encore à un stade préliminaire, ne permet pas d'apporter la démonstration de leurs performances, visant d'une part à limiter la circulation de l'eau dans le stockage et d'autre part à garantir une perméabilité au gaz suffisante. L'Andra prévoit la mise en place de démonstrateurs de scellements de descenderie et de galerie, dès le début de la construction de Cigéo, visant à démontrer l'opérationnalité des concepts retenus et à disposer d'une première évaluation de la performance hydraulique des scellements.
- La première formulation du matériau cimentaire destiné à remplir l'espace annulaire entre la roche et le chemisage des alvéoles « haute activité » présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création induisant des vitesses de corrosion significatives, l'Andra développe un programme visant à l'élaboration d'autres formulations, mais dont l'avancement reste à ce stade encore limité. Les données disponibles pour justifier le dimensionnement des composants métalliques de l'alvéole HA restent ainsi marquées par des incertitudes importantes, ce qui constitue un point d'attention pour statuer sur la pertinence de leur dimensionnement tel que retenu à ce stade.
- La méthode de creusement des puits d'accès à l'installation souterraine constitue un point de vigilance particulier compte tenu de l'importance de la mise en place des scellements pour la sûreté après-fermeture.

L'ASNR estime que :

- L'Andra a acquis une base de connaissances relatives aux composants du système de stockage suffisante pour évaluer la sûreté de Cigéo au stade de la demande d'autorisation de création.
- En sus de la poursuite de la validation du modèle numérique du transitoire hydraulique-gaz en précisant ses différentes incertitudes, une exigence relative à la pression maximale de gaz à ne pas dépasser dans le stockage devra être définie. Elle devra respecter une marge par rapport au seuil de fracturation de la roche et fera l'objet de vérifications *in situ* au fur et à mesure de la construction.
- Les résultats des programmes de recherche associés à la mise en place de démonstrateurs de scellements de descenderie et de galerie devront être intégrés au bilan de la phase industrielle pilote, afin de consolider le concept de référence complet de chaque type de scellement, associé aux puits, descenderies et galeries.
- Le dimensionnement des composants métalliques de l'alvéole HA devra être justifié au regard des résultats du programme relatif à la corrosion de ces composants en présence du matériau de remplissage de l'espace annulaire.
- L'Andra devra présenter, avant le creusement des puits, la méthode de creusement retenue afin de minimiser l'endommagement de la roche, au moins localement au droit des futures zones à sceller.

Inventaires des colis de déchets prévus d'être stockés dans Cigéo

Considérant ce qui suit :

- Les familles de colis primaires des inventaires de référence et de réserve sont identifiées de façon adéquate et cohérente avec les scénarios industriels prospectifs retenus par l'Andra.
- Bien que les données présentées concernant les colis constituant l'inventaire de référence (caractéristiques radiologiques, chimiques et physiques) ainsi que la démarche d'élaboration des spécifications préliminaires d'acceptation des colis primaires soient globalement satisfaisantes pour concevoir l'installation et en évaluer la sûreté, des incertitudes subsistent à ce sujet.
- Les données présentées pour l'inventaire de réserve 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.
- Concernant l'impact des évolutions possibles de la politique énergétique française sur l'adaptabilité de Cigéo en termes d'emprise du stockage, selon les scénarios étudiés (stockage de l'inventaire de réserve, prolongation de l'exploitation des réacteurs de 50 à 60 ans, construction de six réacteurs EPR2), les limites actuelles de la zone d'implantation des ouvrages souterrains pourraient être dépassées, tout en restant dans la zone de transposition pour laquelle la possibilité d'implanter un stockage a été établie.

L'ASNR estime que :

- L'Andra a acquis une base de connaissances relatives aux colis de déchets à stocker suffisante pour évaluer la sûreté de Cigéo au stade de la demande d'autorisation de création.
- Les incertitudes subsistant concernant notamment les volumes de colis primaires de déchets dont le conditionnement reste à définir, leurs modes de stockage, la prise en compte des déchets issus du traitement des combustibles usés de type MOX ou issus de réacteurs de recherche et les dates de réception des derniers colis dans l'installation devront être accommodées par le caractère flexible de l'installation.
- L'adaptabilité de Cigéo au stockage de l'inventaire de réserve présenté par l'Andra n'est pas remise en cause par les connaissances actuelles relatives à la géologie, y compris si cet inventaire de réserve était augmenté des déchets produits du fait de la prolongation de l'exploitation de l'ensemble des réacteurs actuels de 50 à 60 ans et de la construction de six réacteurs de type EPR2.
- L'adaptation de l'installation dans la durée à d'autres évolutions possibles que celles retenues actuellement dans l'inventaire de réserve (prolongation de l'exploitation des réacteurs au-delà de 60 ans, construction de réacteurs EPR2 supplémentaires ou de petits réacteurs modulaires) 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.

Concernant l'évaluation de la sûreté en phase d'exploitation des installations de surface et souterraine

Démarche de sûreté et de radioprotection en exploitation

Considérant ce qui suit :

- La démarche de sûreté et de radioprotection retenue par l'Andra est fondée sur les fonctions de sûreté assignées à l'installation ainsi que la définition d'objectifs de protection des travailleurs et du public en vue de protéger la santé des personnes et l'environnement contre les risques liés à la dissémination de substances radioactives et de toxiques chimiques.
- L'Andra classe les situations accidentelles susceptibles de conduire à un risque radiologique selon leur caractère vraisemblable, soit dans le domaine de dimensionnement, soit dans le domaine d'extension de dimensionnement, soit en tant que situations exclues.
- La méthodologie utilisée pour définir les spécifications préliminaires d'acceptation des colis de déchets radioactifs a été jugée satisfaisante au stade du dossier d'options de sûreté (DOS) et n'a pas évolué.
- L'Andra a établi une liste de contrôles « systématiques » qu'elle envisage de faire à réception des colis primaires et une liste préliminaire de contrôles à réaliser par échantillonnage, dits contrôles « hors flux », en cours de développement.
- La stratégie de surveillance a pour objectifs de s'assurer que l'installation reste dans le domaine de fonctionnement normal pendant son exploitation et de vérifier que les perturbations liées à la construction et à l'exploitation n'impactent pas les fonctions de sûreté après-fermeture. Celle-ci repose principalement sur différentes méthodes de mesure redondantes et complémentaires ainsi que, pour les alvéoles, à des mesures déportées dans des ouvrages témoins.

L'ASNR estime que :

- Les principes guidant la démarche de sûreté et de radioprotection, les fonctions de sûreté et les éléments importants pour la protection identifiés, ainsi que le cadre défini pour les situations du domaine de dimensionnement des installations de surface et souterraine, sont globalement satisfaisants.
- Dans la prochaine révision de la version préliminaire du rapport de sûreté, le classement de certaines situations accidentelles postulées relevant du domaine d'extension du dimensionnement devra être consolidé en objectivant le caractère peu vraisemblable des situations accidentelles de ce domaine ; l'absence de dispositions complémentaires raisonnablement applicables pour ces situations devra être justifiée.
- Bien qu'exclue actuellement, une situation de dissémination notable de substances radioactives au sein de l'installation souterraine devra être postulée dans la prochaine révision de la version préliminaire du rapport de sûreté pour permettre de tirer des enseignements en termes de dispositions de gestion accidentelle et post-accidentelle, à prendre à la construction, et qui seraient de nature à faciliter cette gestion.
- Les spécifications préliminaires d'acceptation des colis primaires définies par l'Andra en lien avec les producteurs de déchets sont, dans leur ensemble, cohérentes avec l'évaluation de sûreté en exploitation. Néanmoins, bien que des contrôles systématiques et « hors flux » soient prévus et devraient garantir la conformité d'un nombre important de colis à ces spécifications, la suffisance du nombre d'emplacements dans la zone dédiée à la gestion des colis non conformes dans l'installation devra être justifiée dans la prochaine révision de la version préliminaire du rapport de sûreté.
- Bien que la stratégie de surveillance et l'identification des paramètres à mesurer soient suffisantes au stade de la demande d'autorisation, l'Andra devra compléter la démonstration de faisabilité des dispositions de surveillance au cours de la phase industrielle pilote et justifier, avant le creusement de ces ouvrages, la pertinence de la représentativité de la surveillance déportée en alvéoles témoins HA et MA-VL.

Concernant l'évaluation de sûreté en phase d'exploitation

Considérant ce qui suit :

- L'Andra a apporté des éléments de démonstration de la maîtrise des risques d'origine interne (inondation interne, manutention, perte d'auxiliaires et coactivité) suffisants pour ce stade de développement du projet.
- L'analyse de la maîtrise du risque incendie nécessite d'être consolidée notamment sur le caractère enveloppe des agressions retenues. Les dispositions de compartimentage visant à limiter les conséquences d'un incendie dans l'installation souterraine et les dispositions liées à l'intervention en cas d'incendie dans l'installation souterraine afin de garantir une intervention rapide et efficace nécessitent d'être améliorées ou complétées pour pouvoir confirmer la démonstration de sûreté.
- Les études relatives à l'évolution de l'atmosphère interne d'un alvéole MA-VL non ventilé lors de la phase de fermeture et aux conséquences d'une éventuelle explosion sont à un stade préliminaire.
- La faisabilité technique des dispositions de limitation des échanges gazeux avec la galerie d'accès ou de surveillance et pour l'inertage de l'atmosphère interne n'est pas démontrée pour la conception actuelle, ni pour le passage à une échelle industrielle, en vue de la maîtrise de l'atmosphère interne des alvéoles HA vis-à-vis du risque d'explosion.
- L'Andra a récemment engagé une évolution organisationnelle de l'agence liée au passage de la phase de conception à la phase industrielle de construction et de fonctionnement de Cigéo.

L'ASNR estime que :

- La démonstration de la maîtrise des risques de manutention (chute et collision) et de dissémination des substances radioactives dans les installations souterraines et de surface est étayée et les dispositions techniques envisagées sont conformes aux bonnes pratiques, ce qui est satisfaisant.
- La démarche d'évaluation de la maîtrise du risque incendie et les dispositions techniques associées devront être consolidées notamment concernant la justification du caractère enveloppe des agressions retenues, le compartimentage de l'installation souterraine et la capacité d'intervention en cas d'incendie dans cette dernière.
- La gestion de la ventilation lors des phases transitoires liées au déploiement de l'installation souterraine devra être précisée.
- La démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque « explosion » lors des opérations de fermeture de l'alvéole MA-VL, induisant un arrêt de la ventilation, et après sa fermeture ainsi que celle de l'alvéole HA en exploitation devra être complétée avant le début des travaux de creusement.
- L'organisation de l'Andra reste à conforter pour maîtriser les risques liés à la gestion du projet Cigéo notamment sur la mise en œuvre du système de management intégré, la gestion des configurations, la gestion des ressources et des compétences, l'intégration des facteurs organisationnels et humains ainsi que la formalisation du retour d'expérience. La feuille de route que l'Andra s'est engagée à transmettre d'ici la fin de l'année 2025 devra bien identifier ces enjeux et les échéances de mise en œuvre. Un point d'étape sera attendu lors de la prochaine mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté.

Concernant le cas particulier du stockage en l'état des déchets bitumés

Considérant ce qui suit :

- Les colis de déchets bitumés représentent 18 % du nombre de colis de l'inventaire de référence de l'installation.
- Ces déchets n'ont pas vocation à être stockés dans Cigéo lors de la phase industrielle pilote.
- Les déchets bitumés font l'objet d'un programme de caractérisation, appelé Babylone, visant à améliorer les connaissances sur le comportement à long terme de ces déchets, porté par les producteurs de déchets et l'Andra, qui est suivi dans le cadre du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR).
- Les dispositions de conception spécifiques des conteneurs de stockage et des alvéoles dédiés à ces déchets et des scénarios « extrêmes » postulant l'emballage thermique d'un colis stocké ont été présentées.

- Les scénarios « extrêmes » présentés par l'Andra n'intègrent pas suffisamment les connaissances phénoménologiques relatives au comportement des colis de déchets bitumés et leur caractère enveloppe n'est à ce stade pas démontré.
- Les délais de détection et d'intervention suite à une montée en température dans un colis de stockage ont fait l'objet d'évaluations préliminaires.

L'ASNR estime que :

- La démonstration de sûreté basée sur le respect du critère de température en peau de colis à 100°C est satisfaisante pour les scénarios de référence retenus.
- Toutefois, pour les scénarios extrêmes, la démonstration de sûreté du stockage en l'état des déchets bitumés n'est pas entièrement aboutie et nécessite des compléments. La stratégie de détection et d'intervention reste notamment à consolider et justifier sur la base de scénarios enveloppes.

Evaluation de l'impact sanitaire et environnemental en exploitation

Considérant ce qui suit :

- Le niveau de l'impact radiologique sanitaire et pour l'environnement en fonctionnement normal, évalué par l'Andra, basé notamment sur une identification des rejets, est très faible.
- L'évaluation de l'impact des rejets liquides de substances chimiques toxiques est fondée sur le respect par ces rejets des valeurs des normes de qualité environnementale.
- En situations incidentelles et accidentielles, les évaluations des conséquences radiologiques et chimiques pour les populations proches conduisent à des niveaux de conséquences respectant les objectifs de protection, ce qui est satisfaisant.

L'ASNR estime que :

- La méthode retenue pour évaluer l'impact radiologique en situations normale, incidentelle et accidentelle est globalement satisfaisante.
- Une évaluation quantitative de l'impact des rejets liquides de substances chimiques toxiques devra être réalisée, sur la base d'une estimation des concentrations rejetées dans l'environnement.

Concernant l'évaluation de la sûreté en phase après fermeture

Considérant ce qui suit :

- La démarche d'évaluation de la sûreté après fermeture retenue par l'Andra comprend une analyse des risques internes et externes ainsi que des incertitudes associées à l'évolution future des composants du stockage d'une part, et une évaluation de la capacité globale de confinement du stockage intégrant ces risques et incertitudes via des scénarios d'évolution du stockage d'autre part.
- L'Andra classe les scénarios d'évolution du stockage qu'elle retient selon leur vraisemblance :
 - o le scénario d'évolution normale (SEN) ou « domaine d'évolution normale », qui correspond à l'évolution prévisible de l'installation et du milieu géologique ;
 - o des scénarios d'évolution altérée (SEA), associés à des événements incertains mais plausibles, qui visent à évaluer les conséquences de dysfonctionnements de composants pouvant entraîner une dégradation de leur performance ou la perte partielle d'une fonction de sûreté ;
 - o des scénarios de type What-if (« Et si ? »), qui postulent des événements très peu plausibles afin de tester la robustesse du système de stockage.
- L'Andra retient une exigence d'exclusion du risque de criticité afin de préserver la roche hôte. Pour ce faire, la démonstration repose sur la détermination des masses critiques⁴ par colis de déchets en tenant compte des évolutions envisageables des colis et des alvéoles à long terme. Ces masses critiques sont supérieures aux masses de matière fissile admissibles dans l'installation et définies dans les spécifications d'acceptation, sauf pour un nombre très limité de colis qui feront l'objet d'une étude particulière.
- L'Andra retient le séisme maximum physiquement possible (SMPP) pour évaluer les effets sur le dimensionnement des ouvrages.
- Les évaluations du scénario d'évolution normale (SEN), en situation de « référence » et « enveloppe », montrent une large prédominance des transferts de la plupart des radionucléides, vers les encaissants, par diffusion via la formation géologique du CO₂, par rapport à la voie « ouvrage ». Les impacts sanitaires radiologiques restent inférieurs à l'objectif de protection (valeur repère de 0,25 mSv/an).
- Les scénarios de dysfonctionnement (scellements, conteneurs de déchets HA, effondrement d'alvéole) conduisent à des impacts sanitaires comparables à ceux du SEN, et ceux des scénarios plus pénalisants, faille non détectée ou intrusion humaine, restent acceptables au regard des hypothèses très conservatrices et peu vraisemblables.
- L'Andra a pris l'engagement d'étudier un scénario d'abandon anticipé du stockage avant sa fermeture, en réponse à l'intérêt formulé dans le cadre du dialogue technique précité.
- En l'absence de comparaison étayée entre plusieurs options d'architecture selon des critères de sûreté en exploitation et en après fermeture, le caractère optimisé de l'architecture ne peut être établi à ce stade. L'architecture actuelle confère une importance accrue aux scellements, du fait de l'absence de mise à profit d'un positionnement du quartier de stockage MA-VL en aval hydraulique des liaisons surface-fond.
- Le travail de préfiguration mené par l'Andra sur la préservation de la mémoire est satisfaisant à ce stade.
- S'agissant du stockage de l'inventaire de réserve, aucun point rédhibitoire n'a été identifié quant à la sûreté après fermeture, mais des efforts importants restent à fournir pour démontrer l'exclusion du risque de criticité à long terme pour les combustibles usés.

L'ASNR estime que :

- La démarche suivie par l'Andra pour évaluer la sûreté à long terme de l'installation est pertinente.
- Afin de dégager des marges par rapport aux objectifs de protection radiologique, la consolidation des connaissances, notamment sur la solubilité du sélénium ou sur les propriétés hydrauliques de la formation géologique du Cox doit être poursuivie.

⁴ La masse critique de matière fissile est la masse minimale de matière suffisant au déclenchement d'une réaction de fission nucléaire en chaîne.

- Le principe d'exclusion du risque de criticité pour l'inventaire de référence est satisfaisant mais pourra s'avérer délicat à démontrer. Aussi, le caractère raisonnablement enveloppe des modèles retenus d'évolution des composants devra être apporté pour conforter cette démonstration.
- Le caractère enveloppe du SMPP retenu devra être conforté, avant le début des creusements des liaisons surface-fond, vis-à-vis de séismes pouvant se produire entre 2 et 5 km de profondeur au droit de la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) ou liés à l'hypothèse d'une origine tectonique des structures détectées dans le Trias situé en-dessous de la couche du COx, au droit du futur quartier HA.
- Le système de stockage, avec l'architecture retenue à ce stade, présente une bonne capacité de confinement y compris pour les scénarios très conservateurs, avec des impacts acceptables.
- Toutefois, s'agissant du scénario de « forage d'exploration abandonné et mal scellé » au niveau du stockage, il sera nécessaire d'évaluer le conservatisme de l'évaluation d'impact associée en traitant la situation de « référence » en plus de celle dite « enveloppe » afin de dégager les gains potentiels, en matière d'impact sanitaire radiologique, liés à des compartimentages supplémentaires des galeries. A cet égard, des justifications complémentaires sur le nombre, la localisation et la performance des scelllements restent à fournir pour compléter la démonstration de la robustesse de l'architecture du système de stockage retenue.
- Les travaux engagés sur la mémoire devront être poursuivis et approfondis en phase ultérieure.
- Des efforts significatifs restent attendus pour démontrer de manière robuste l'exclusion du risque de criticité à long terme pour les combustibles usés de l'inventaire de réserve, en tenant compte des cumuls de dégradations dans la durée affectant la géométrie des combustibles usés.

Sujets transverses à l'examen de la demande d'autorisation de création de Cigéo

Concernant les composantes du principe de réversibilité

L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement définit la réversibilité comme « *la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion. La réversibilité est mise en œuvre par la progressivité de la construction, l'adaptabilité de la conception et la flexibilité d'exploitation d'un stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs permettant d'intégrer le progrès technologique et de s'adapter aux évolutions possibles de l'inventaire des déchets consécutives notamment à une évolution de la politique énergétique. Elle inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérente avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage.* »

Progressivité de la construction

Considérant ce qui suit :

- Le PNGMDR 2022-2026 définit la progressivité comme la « *construction de bâtiments, d'une nouvelle tranche ou de nouveaux types d'alvéoles de stockage [et la] montée en puissance progressive de l'exploitation durant la [phase industrielle pilote]* ».
- A l'issue de l'instruction technique, l'Andra s'est engagée à notamment apporter les compléments suivants aux stades successifs de construction de l'installation :

Avant le début des travaux de terrassement prévus en 2028 :

- o les résultats des investigations géotechniques prévues sur la zone puits, dans les 12 mois qui suivent la fin de ces investigations.

Avant le début des creusements des liaisons surface-fond :

- o l'ensemble des paramètres-clés associés à chaque « composant important pour la protection » (CIP) et, s'agissant du CIP « Callovo-Oxfordien », les dispositions permettant de caractériser l'état initial avant et après creusement ;
- o la possibilité de concilier les flux relatifs aux activités nucléaires et ceux relatifs aux activités de fermeture sans impact sur la maîtrise des risques ;
- o une évaluation de l'évolution de la performance des bétons du génie civil dans le temps, basée notamment sur les résultats de l'approche performancielle, en vue d'une potentielle extension de durée de vie du projet et une modification en conséquence, si besoin, des dispositions constructives des ouvrages concernés.

Avant la construction des bâtiments nucléaires à l'horizon 2040 :

- o les résultats des investigations complémentaires, au niveau des plateformes devant recevoir le bâtiment EP1 et la tête de la descenderie des 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 ;
- o les compléments et justifications attendus en vue de compléter la démonstration de la maîtrise du risque incendie dans le bâtiment EP1 ;
- o les études de sensibilité pour le comportement des structures et études de non-perforation ;
- o les compléments à l'évaluation de la maîtrise du risque d'inondation par les pluies locales (dispositions de limitation d'accumulation d'eau à certains endroits, justification des valeurs de coefficient de rugosité, mise à jour des modélisations de réseau pluvial et de ruissellement) ;
- o les compléments et justifications attendus en vue de compléter la démonstration de sûreté au regard du risque de chute d'avion ;
- o la prise en compte des données les plus récentes sur l'aléa « neige et vent » ainsi que le risque foudre.

Avant le creusement des premiers alvéoles MA-VL et HA, prévu entre 2040 et 2045 :

- la définition d'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 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 ;
- la méthodologie de mesure de pression retenue, en vue d'une mise en œuvre opérationnelle ;
- la stratégie de surveillance déportée en alvéole témoin MA-VL, en précisant les paramètres effectivement suivis du domaine de fonctionnement normal et les dispositions de surveillance qui seront in fine retenues dans cet alvéole ;
- les résultats du programme de démonstrateurs d'alvéole HA et les compléments associés à la démonstration de sûreté des colis HA.

En cohérence avec la temporalité de réalisation des ouvrages concernés :

- les dispositions de surveillance relatives aux paramètres-clés associés aux CIP.

L'ASNR considère que certains des éléments mentionnés ci-dessus pourront être transmis dans le cadre de prescriptions techniques subordonnant à son accord la réalisation des opérations concernées.

Adaptabilité des installations

Considérant ce qui suit :

- L'article D. 542-91 du code de l'environnement susvisé prévoit que « [...] *l'inventaire de réserve prend en compte les incertitudes liées notamment à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets ou à des évolutions de politique énergétique. [...]. [Cigéo] est également conçu pour être en mesure d'accueillir les substances qui figurent à l'inventaire de réserve, sous réserve le cas échéant d'évolutions dans sa conception pouvant être mises en œuvre en cours d'exploitation à un coût économiquement acceptable* » et l'article D. 542-92 précise que « *s'ils ne figurent pas dans l'inventaire de référence, les combustibles usés issus de l'exploitation des réacteurs électronucléaires, des réacteurs expérimentaux et de la propulsion nucléaire navale sont intégrés dans l'inventaire de réserve.* ».
- De plus, le PNGMDR 2022-2026 rappelle que la décision a été prise « *d'intégrer dans la conception de Cigéo des dispositions permettant d'éventuelles adaptations ultérieures pour y stocker une partie des substances radioactives actuellement considérées comme des matières, et non comme des déchets, comme par exemple les combustibles usés.* ».
- Dans son avis relatif au dossier d'option de sûreté susvisé, l'ASN considérait que l'Andra devait « *justifier qu'il n'y a pas d'élément rédhibitoire au stockage de [l'] inventaire de réserve* » et « *permettre d'avoir la raisonnable assurance que la démonstration de sûreté pourra, le cas échéant, être confirmée* ».
- Les études d'adaptabilité de Cigéo présentées dans le dossier de demande déposé par l'Andra s'appuient sur un inventaire de réserve, intégrant :
 - des colis HA et MA-VL induits par l'allongement de la durée de fonctionnement à 60 ans d'une partie des réacteurs nucléaires du parc actuel (scénario SR1⁵) ;
 - les combustibles usés non recyclés (scénario SNR enveloppe) détenus par EDF et le CEA ;
 - des colis de déchets FA-VL (principalement des déchets de graphite, des déchets issus du traitement de combustibles UNGG et des déchets bitumés) pour intégrer les incertitudes liées à la mise en place d'une filière de gestion dédiée aux déchets FA-VL.

⁵ Les différents scénarios (SR1, SR2, SNR...) sont décrits dans l'édition 2018 de l'Inventaire national établi par l'Andra.

- L'évolution de la politique énergétique de la France et les décisions associées ont conduit l'Andra à faire évoluer l'inventaire de réserve pour la mise à jour de son dossier de demande d'autorisation de création en amont de l'enquête publique, en y intégrant :
 - o un allongement à 60 ans de la durée de fonctionnement de l'ensemble des réacteurs du parc électronucléaire actuel ;
 - o les déchets issus du déploiement de six nouveaux réacteurs EPR2 avec une durée de fonctionnement de 60 ans.
- Les principes de conception pour le stockage éventuel des combustibles usés et des déchets FA-VL de l'inventaire de réserve sont similaires à ceux prévus respectivement pour les déchets HA et MA-VL.
- Le stockage des déchets de l'inventaire de réserve conduirait à un allongement de la durée de fonctionnement de Cigéo, avec pour enjeu principal la durabilité des ouvrages de génie civil.

L'ASNR estime que :

- La possibilité du stockage des déchets de l'inventaire de réserve ne présente pas de point rédhibitoire au regard de la sûreté en exploitation à ce stade des études, compte tenu notamment des dispositions similaires à celles retenues pour le stockage des déchets HA et MA-VL de l'inventaire de référence.
- La maîtrise des risques de criticité et de pyrophoricité en exploitation pour le stockage éventuel des combustibles usés, la gestion de la ventilation ainsi que les moyens d'intervention en situation d'incendie nécessiteront des compléments dans les prochaines mises à jour des études d'adaptabilité.
- Les travaux menés par l'Andra sur le comportement mécanique des ouvrages souterrains sont de nature à assurer des performances des bétons sur des durées supérieures à celles associées aux normes prescriptives existantes et compatibles avec une perspective d'augmentation de la durée d'exploitation.
- L'adaptabilité de l'installation dans la durée à d'autres évolutions possibles que celles retenues actuellement dans l'inventaire de réserve (prolongation de l'exploitation des réacteurs au-delà de 60 ans, exploitation de huit réacteurs EPR2 supplémentaires, de réacteurs de type SMR ...) devra faire l'objet d'une démonstration et d'un examen dédié lorsque les décisions afférentes à ces installations auront le cas échéant été prises. Dans le cas où il serait envisagé de stocker d'autres déchets que ceux de l'inventaire de référence, une démonstration de sûreté associée devra être apportée.

Flexibilité de l'exploitation

Considérant ce qui suit :

- La flexibilité s'entend comme la capacité à gérer des variations liées à l'inventaire à stocker, aux chroniques de livraison ou aux stratégies de fermeture, ainsi qu'à intégrer des évolutions de connaissances, de technologies ou plus généralement de modalités d'exploitation.
- Certaines incertitudes relatives à l'inventaire de référence demeurent, en particulier le nombre, le volume, le mode de stockage de certains colis primaires de l'inventaire de référence dont le conditionnement reste à définir.

L'ASNR estime qu'afin de garantir une gestion sûre de l'ensemble des déchets de l'inventaire de référence, la flexibilité devra être déclinée par l'Andra en dispositions organisationnelles et matérielles concrètes, garantissant la maîtrise des risques en exploitation et l'absence d'incidence sur la sûreté après fermeture de l'installation.

Récupérabilité des colis

Considérant ce qui suit :

- Les scénarios étudiés par l'Andra forment un ensemble qui constitue une avancée au regard des précédents dossiers. La conception des dispositions prises a progressé et ces dispositions feront l'objet d'un programme d'essais en phase industrielle pilote.
- L'Andra retient deux types de scénarios impliquant la mise en œuvre de retrait de colis : les « retraits d'exploitation », qui font partie de l'exploitation courante de Cigéo, et les « retraits hypothétiques », étudiés au titre de la gestion de situations post-accidentielles ou de la réversibilité.
- Les dispositions de récupérabilité feront l'objet d'essais au cours de la phase industrielle pilote.

L'ASNR estime que :

- Les travaux relatifs à la corrosion des composants métalliques des alvéoles HA, qui font l'objet d'un programme d'étude développé par l'Andra, devront être intégrés dans la démonstration de sûreté concernant le retrait des colis.
- La démonstration de la maîtrise du risque d'explosion dans les alvéoles MA-VL en cours de fermeture et une fois fermés ainsi que dans les alvéoles HA, mentionné ci-dessus, devra être acquise en vue de garantir la sûreté des opérations de retrait des colis.

Concernant la phase industrielle pilote

Considérant ce qui suit :

- L'Andra propose que la phase industrielle pilote débute dès l'obtention du décret d'autorisation et comprenne la période de construction de l'installation, la réalisation d'essais en « inactif » suivi d'une période d'essais de démarrage et une période de stockage de colis de déchets radioactifs d'environ 5 ans.
- L'Andra a prévu de stocker durant la phase industrielle pilote 6 types de colis MA-VL et 3 types de colis HA peu exothermiques et n'exclut pas, en fonction de la durée de la phase industrielle pilote et des besoins identifiés, de stocker d'autres types de colis.
- La configuration spatiale de l'installation construite puis exploitée pendant la phase industrielle pilote comprend : les ouvrages de liaison surface-fond (puits et descenderies), le quartier MA-VL composé d'une « boucle » et de 4 premiers alvéoles, un quartier pilote HA représentatif du futur quartier de stockage HA, les zones de soutien logistique, ainsi que les démonstrateurs de scellements, composants essentiels à la sûreté en après fermeture. L'ensemble des formations géologiques sus-jacentes à la couche du Callovo-Oxfordien sont traversées par les puits et descenderies. Les installations en profondeur couvrent, au sein de la couche du Callovo-Oxfordien, une superficie de quelques km², soit environ 20 % de la superficie de l'installation à terminaison.
- L'Andra a transmis, en réponse à l'action HA/MA-VL.6 du 5^{ème} Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR), une proposition d'objectifs et critères de réussite de la phase industrielle pilote, qui vise notamment à :
 - o préparer les installations et ouvrages pour permettre leur exploitation,
 - o prendre en main progressivement l'exploitation et consolider l'organisation de l'exploitation nucléaire,
 - o déployer progressivement la surveillance,
 - o conforter *in situ*, dans les conditions réelles d'environnement, de construction et de fonctionnement industriel de Cigéo, les données utilisées pour sa conception et pour sa démonstration de sûreté,
 - o conforter le comportement des ouvrages souterrains et de la formation du CO₂ au regard du maintien de leurs fonctionnalités et préparer la fermeture de l'installation souterraine ;
 - o conforter la réversibilité de l'INB Cigéo en :
 - apportant un retour d'expérience pour le déploiement progressif ;
 - testant la flexibilité de l'exploitation ;
 - contrôlant la réalisation des dispositions conservatoires vis-à-vis de l'adaptabilité ;
 - réalisant des essais de récupérabilité.
- L'échéance de mise en service de l'installation limitée à la phase industrielle pilote, initialement envisagée en 2035 par l'Andra étant désormais prévue en 2050, ceci devrait permettre à l'Andra d'acquérir un ensemble de résultats suffisant pour faire aboutir les composantes de la démonstration de sûreté le nécessitant.
- La stratégie de surveillance de l'installation souterraine définie par l'Andra s'appuie sur des mesures dans des alvéoles témoins et la surveillance de paramètres-clés. Toutefois, les dispositions dédiées à cette surveillance et la représentativité des mesures déportées demandent encore une attention particulière.

L'ASNR estime que :

- Les objectifs et critères de réussite de la phase industrielle pilote proposés par l'Andra, bien que satisfaisants sur le plan général, restent préliminaires et devront être précisés au regard des besoins de compléments et de consolidation de la démonstration de sûreté présentés dans cet avis.
- L'Andra devra établir, dès le début des creusements, un programme de travail à mener lors de la phase industrielle pilote (en inactif et en actif).
- Le nombre de colis à stocker durant la phase industrielle pilote ainsi que le rythme des opérations de stockage doivent être évalués sur la base du programme des essais en actif relatifs aux étapes du processus de mise en stockage et de retrait des colis.
- Les choix de types de colis retenus par l'Andra pour être stockés lors de la phase industrielle pilote sont pertinents dans l'objectif de tester les opérations et modes de stockage dans Cigéo.
- L'activité de stockage de déchets radioactifs doit se dérouler pendant une période suffisante dans le temps afin de permettre à l'Andra de prendre en main l'exploitation de l'installation. Le rapport de fin de phase industrielle pilote, prévu par l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé, couvrirait ainsi les résultats des travaux définis pour cette phase et les premiers retours issus des opérations de construction des premiers ouvrages et de stockage. Ce rapport pourrait intervenir concomitamment à la remise du rapport de fin d'essais de démarrage mentionné à l'article R. 593-34 du code de l'environnement.
- Les arrêts et redémarrages d'une installation nucléaire étant des phases sensibles en termes de sûreté et de maintien des compétences, la continuité de l'exploitation entre la fin de la phase industrielle pilote et la mise en service complète de l'installation représente un enjeu de sûreté dans l'exploitation de l'installation. Il conviendra en conséquence que les modalités préalables à la délivrance de l'autorisation de mise en service complète, prévues à l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé, soient anticipées, sous couvert de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote.

Mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté 10 ans après délivrance de l'autorisation, le cas échéant.

L'instruction de la demande d'autorisation a mis en lumière le besoin de justifications et de compléments au dossier. Outre les éléments identifiés en première partie de cet avis, l'Andra s'est notamment engagée à intégrer lors de la prochaine mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté :

- la justification de l'exclusion de scénarios au regard des dispositions de conception, de réalisation et d'exploitation retenues ;
- la stratégie de qualification des éléments importants pour la protection (EIP) inaccessibles,
- les critères et les méthodes permettant de justifier la qualification des EIP au regard du respect de leurs exigences définies (ED) ;
- à l'analyse de sûreté-criticité : l'ensemble des hypothèses retenues pour établir la démonstration des masses de matière fissile admissibles et leurs justifications ainsi que les modalités de contrôle associées ;
- pour les colis primaires pour lesquels les masses de matière fissile maximales évaluées par les producteurs de déchets et celles autorisées à Cigéo sont proches : la quantification des marges en situation anormale de dépassement des limites, en recourant si besoin à des hypothèses de modélisation aussi réalistes que possible en phase d'exploitation ;
- la justification du classement du scénario d'incendie consécutif à une collision entre un engin de transfert de colis et un autre type de véhicule ;
- la consolidation des scénarios d'emballage enveloppes en s'appuyant sur des considérations phénoménologiques de la réactivité des enrobés bitumés et du comportement des fûts d'enrobés sous sollicitation thermique ainsi que la consolidation de la stratégie de détection et d'intervention présentée dans le dossier de DAC et la justification de sa suffisance pour exclure la propagation d'un emballage de réactions exothermiques ;

- la justification du respect des exigences de comportement assignées aux structures de génie civil des bâtiments nucléaires de surface constituant la dernière barrière de confinement à l'égard des effets induits par la chute d'un avion suivie d'un incendie ; à défaut de justification de l'exigence de non-introduction de kérosène, la définition des charges calorifiques dont la combustion est à cumuler à celle du kérosène en cas de chute d'un avion ;
- la justification de la résistance au feu des voussoirs ainsi que celle du revêtement, par une méthode à l'état de l'art applicable aux ouvrages souterrains, en tenant compte des risques d'éclatement du béton et sur une durée permettant le refroidissement des structures ;
- le programme des travaux à réaliser en phase industrielle pilote « inactive » permettant de conforter la démonstration de sûreté ;
- la consolidation de la démonstration de l'exclusion du risque de criticité en après-fermeture ;
- la consolidation de l'évaluation du scénario What-if « discontinuité traversante », en tenant compte d'une discontinuité au sein du quartier de stockage HA et de l'ensemble des radionucléides mobiles et peu mobiles d'intérêt, dont les éléments transuraniens et leur filiation ;
- l'étude d'une situation d'abandon du stockage pendant son fonctionnement, reposant sur l'identification, le cas échéant, des enseignements notamment en ce qui concerne les modalités d'une éventuelle fermeture préventive anticipée du stockage, permettant de limiter les conséquences de telles situations sur la sûreté à long terme.