



Autorité environnementale

**Avis délibéré de l’Autorité environnementale
sur le centre de stockage Cigéo (52-55), actuali-
sation de l’avis n° 2020-79**

n°Ae : 2024-40

Avis délibéré n° 2024-40 adopté lors de la séance du 27 juin 2024

Préambule relatif à l'élaboration de l'avis

L'Ae¹ s'est réunie le 27 juin 2024 à la Défense. L'ordre du jour comportait, notamment, l'avis sur le centre de stockage Cigéo (52-55).

Ont délibéré collégalement : Sylvie Banoun, Nathalie Bertrand, Barbara Bour-Desprez, Karine Brulé, Marc Clément, Virginie Dumoulin, François Letourneux, Olivier Milan, Serge Muller, Jean-Michel Nataf, Alby Schmitt, Éric Vindimian, Véronique Wormser.

En application de l'article 4 du règlement intérieur de l'Ae, chacun des membres délibérants cités ci-dessus atteste qu'aucun intérêt particulier ou élément dans ses activités passées ou présentes n'est de nature à mettre en cause son impartialité dans le présent avis.

Étaient absents : Bertrand Galtier, Christine Jean.

N'ont pas participé à la délibération, en application de l'article 4 du règlement intérieur de l'Ae : Laurent Michel, Laure Tourjansky.

* *

L'Ae a été saisie pour avis par le préfet de la Meuse, l'ensemble des pièces constitutives du dossier ayant été reçues le 9 avril 2024.

Cette saisine étant conforme aux dispositions de l'article R. 122-6 du code de l'environnement relatif à l'autorité environnementale prévue à l'article L. 122-1 du même code, il en a été accusé réception. Conformément à l'article R. 122-7 du même code, l'avis a vocation à être rendu dans un délai de deux mois.

Conformément aux dispositions de ce même article, l'Ae a consulté par courriers le 19 avril 2024 :

- *le préfet de la Meuse, qui a transmis une contribution le 23 mai 2023,*
- *la directrice générale de l'Agence régionale de santé (ARS) de la région Grand Est, qui a transmis une contribution le 27 mai 2024,*

En outre, sur proposition des rapporteurs, l'Ae a consulté par courrier le 6 mai 2024 :

- *l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, qui a transmis une contribution le du 4 juin 2024 ;*
- *l'Autorité de sûreté nucléaire qui a transmis une contribution le 18 juin 2024.*

Sur le rapport de Pierre-François Clerc et Éric Vindimian, qui se sont rendus sur le site le 27 mai, après en avoir délibéré, l'Ae rend l'avis qui suit.

Pour chaque projet soumis à évaluation environnementale, une autorité environnementale désignée par la réglementation doit donner son avis et le mettre à disposition du maître d'ouvrage, de l'autorité décisionnaire et du public.

Cet avis porte sur la qualité de l'étude d'impact présentée par le maître d'ouvrage et sur la prise en compte de l'environnement par le projet. Il vise à permettre d'améliorer sa conception, ainsi que l'information du public et sa participation à l'élaboration des décisions qui s'y rapportent. L'avis ne lui est ni favorable, ni défavorable et ne porte pas sur son opportunité.

La décision de l'autorité compétente qui autorise le pétitionnaire ou le maître d'ouvrage à réaliser le projet prend en considération cet avis. Une synthèse des consultations opérées est rendue publique avec la décision d'octroi ou de refus d'autorisation du projet (article L. 1221-1 du code de l'environnement). En cas d'octroi, l'autorité décisionnaire communique à l'autorité environnementale le ou les bilans des suivis, lui permettant de vérifier le degré d'efficacité et la pérennité des prescriptions, mesures et caractéristiques (article R. 12213 du code de l'environnement).

Conformément au V de l'article L. 122-1 du code de l'environnement, le présent avis de l'autorité environnementale devra faire l'objet d'une réponse écrite de la part du maître d'ouvrage qui la mettra à disposition du

¹ Formation d'autorité environnementale de l'Inspection générale de l'environnement et du développement durable (IGEDD).

public par voie électronique au plus tard au moment de l'ouverture de l'enquête publique prévue à l'article L. 123-2 ou de la participation du public par voie électronique prévue à l'article L. 123-19.

Le présent avis est publié sur le site de l'Ae. Il est intégré dans le dossier soumis à la consultation du public.

Synthèse de l'avis

Le projet Cigéo a fait l'objet d'une déclaration d'utilité publique par décret n° 2022-993 du 7 juillet 2022 après [avis 2020-79 du 13 janvier 2021](#) de l'Ae. L'Andra, établissement public de l'État, sollicite des autorisations environnementales dans le but de réaliser les opérations de la phase d'aménagements préalables dite DR0. Le dossier procède de deux actualisations, celle du dossier en vue du décret d'autorisation de création déposé auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) le 16 janvier 2023 et celle de la phase DR0. Le présent avis s'applique à l'étude d'impact actualisée d'ensemble, il complète, sans les reprendre, les recommandations de l'avis de 2021.

La phase DR0 comporte d'importants forages de caractérisation géophysique et hydrogéologique du sous-sol à l'endroit des ouvrages. Treize ouvrages profonds équipés de piézomètres permettront d'explorer l'espace géologique situé en profondeur. Ils seront couplés avec de l'imagerie sismique afin de compléter les informations sur les différentes couches géologiques et leur hydrologie.

Pour l'Ae, les principaux enjeux environnementaux du projet, inchangés, sont les suivants :

- la sécurité après fermeture du site de stockage pour une période très longue ;
- le risque de dissémination de la radioactivité dans l'environnement notamment aquatique ;
- la préservation de la santé humaine du fait du risque d'exposition suite à la dispersion de substances radioactives ;
- la protection des milieux naturels et de la biodiversité.

Les principales recommandations de l'Ae et qui concernent le maître d'ouvrage sont :

- de présenter la surveillance à long terme qui est prévue, les moyens envisagés pour prévenir les risques d'intrusion par forage dans le stockage après fermeture et d'ouvrir et d'élargir et le débat sur les options permettant de maximiser la mémoire du centre de stockage et de minimiser les risques de contact des générations futures avec les colis de déchets ;
- de mettre en place dès aujourd'hui un mécanisme de consultation formelle prévu par la convention d'Espoo et l'article R.593-22 du code de l'environnement ;
- d'approfondir l'analyse des options de gestion des déchets, en prenant en compte leur accessibilité et en décrivant l'option qui panacherait l'entreposage et le stockage très profonds ;
- de reprendre l'analyse des incidences sanitaires du bruit en comparant les bruits modélisés avec les niveaux de référence de bruit des lignes directrices de l'OMS ;
- de revoir la conclusion sur le niveau de risque sanitaire et de présenter de façon didactique au public les niveaux élevés de risque sanitaire liés aux PM_{2,5} ;
- d'inclure les émissions de la descenderie dans la modélisation des panaches radioactifs ;
- de fournir les résultats quantitatifs des risques évalués selon les différents scénarios d'évolution altérée et d'intrusion involontaire ;

L'Ae recommande également à l'Autorité de sûreté nucléaire (et de radioprotection), de prendre les dispositions permettant aux citoyens de bénéficier des résultats de ses expertises au moment des débats.

La phase DR0 des opérations d'aménagement préalable a des incidences résiduelles faibles bien décrits dans le dossier, elles font l'objet de mesures d'évitement et de réduction appropriées et détaillées.

L'ensemble des observations et recommandations de l'Ae sont présentées dans l'avis détaillé, et concernent en particulier le suivi des évolutions générales de l'étude d'impact, au regard notamment des recommandations de 2021 et des incidences des opérations d'aménagements préalables DR0.

Sommaire

1. Contexte, présentation du projet et enjeux environnementaux	6
1.1. Contexte et périmètre du projet	6
1.2. Présentation du projet et des aménagements projetés	8
1.3. Procédures relatives au projet.....	11
1.4. Principaux enjeux environnementaux du projet relevés par l'Ae.....	12
2. Analyse de l'étude d'impact.....	14
2.1. État initial	14
2.1.1. Analyse exhaustive de l'état initial chimique et radiochimique.....	14
2.1.2. Milieux naturels et physique	14
2.1.2.1. Mise à jour du dossier et prise en compte des recommandations de l'Ae de 2021 .	14
2.1.2.2. Complétion des inventaires écologiques de la zone puits	18
2.2. Analyse de la recherche de variantes et du choix du parti retenu	18
2.2.1. Nature et choix des déchets à entreposer	21
2.2.2. Choix d'implantation des installations	22
2.2.3. Les options de développement du territoire.....	23
2.3. Analyse des incidences du projet et des mesures d'évitement, de réduction et de compensation	24
2.3.1. Milieux naturel et physique.....	24
2.3.1.1. Modifications au regard des recommandations de l'Ae de 2021	24
2.3.1.2. Incidences spécifiques des opérations d'aménagement préalable DR0	31
2.3.2. Milieu humain	32
2.3.2.1. Services écosystémiques.....	32
2.3.2.2. Évaluation des risques pour la santé.....	33
2.3.2.3. Incidences sur l'usage des sols.....	42
2.3.2.4. Impact sur les terres agricoles.....	43
2.3.2.5. Incidences sylvicoles.....	44
2.4. Évaluation des incidences Natura 2000.....	44
2.5. Évaluation économique et sociale des infrastructures de transport.....	45
2.6. Suivi du projet, de ses incidences, des mesures et de leurs effets	45
2.7. Résumé non technique	46
3. Maîtrise des risques majeurs.....	47
3.1. Traitement de l'évaluation et de la maîtrise des risques dans le dossier	47
3.2. Maîtrise du risque sur le projet Cigéo	47
4. Annexe : tableau comparatif des options de stockage des déchets radioactifs	51

Avis détaillé

1. Contexte, présentation du projet et enjeux environnementaux

1.1. Contexte et périmètre du projet

Le projet Cigéo de stockage des déchets radioactifs en couche géologique profonde dont l'Andra est maître d'ouvrage a fait l'objet d'une déclaration d'utilité publique par décret n° 2022-993 du 7 juillet 2022. Le présent avis actualise l'[avis 2020-79 du 13 janvier 2021](#) publié dans le cadre de la demande de déclaration d'utilité publique. La figure 1 montre l'enchaînement des différentes opérations de la déclaration d'utilité publique jusqu'à sa fermeture définitive.

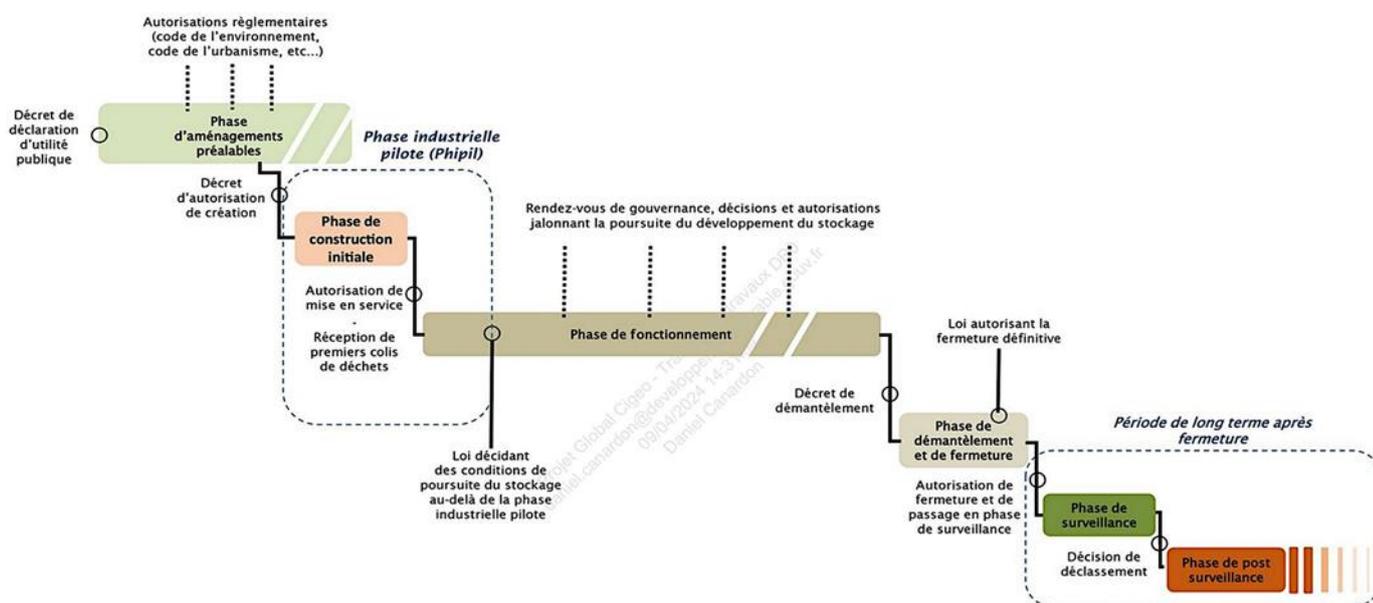


Figure 1 : Schéma récapitulatif des différentes étapes du projet Cigéo. Le démantèlement s'entend comme celui des installations de surface, le stockage proprement dit sera à ce stade scellé et abandonné. Source : dossier.

Le dossier reçu par l'Ae procède de deux actualisations successives, la première est relative au dossier de décret d'autorisation de création déposé auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) le 16 janvier 2023 qui fera l'objet d'un avis futur de l'Ae, la deuxième concerne la phase dite « DR0² » des demandes d'autorisation environnementales d'aménagements préliminaires. Les modifications sont tracées à l'aide d'un repère coloré dans la marge, chaque chapitre comporte un tableau qui liste les modifications de l'étude d'impact produite pour la demande de décret d'autorisation de création (EI1) et pour la phase DR0 (EI2). L'Ae apprécie que le maître d'ouvrage ait adopté sa recommandation

2 DR0 : Dossier réglementaire « zéro » relatif aux premières opérations de caractérisation et de surveillance environnementale du projet global Cigéo. Source : glossaire du dossier.

suggérant de tracer de manière claire les modifications du dossier lors de ses actualisations successives.

L'Ae s'est ainsi attachée à examiner les modifications de l'étude d'impact et à analyser l'évolution de la prise en compte de l'environnement depuis son avis de 2021. Elle a également considéré le mémoire en réponse publié par l'Andra en 2021³. Le lecteur est invité à se reporter à l'avis de 2021 dont, à l'exception des informations nécessaires à la compréhension de la phase actuelle et de l'évolution de l'étude d'impact, seules les recommandations sont reprises ici (en encadré) sous les en-têtes de chapitre de l'avis de 2021.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande, pour la clarté de l'information du public sur un dossier complexe dont les enjeux sont importants, que les modifications ultérieures apportées à l'étude d'impact dans le cadre de ses futures actualisations soient tracées de manière claire.

Cette recommandation a été prise en compte.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande d'inclure, dans l'analyse des impacts et des mesures environnementales, les activités de traitement, de conditionnement et de transport des déchets depuis les sites des producteurs.

Dans son mémoire en réponse l'Andra indique « *que les activités de traitement et de conditionnement des déchets sont réalisées indépendamment de l'existence même du centre de stockage Cigéo, elles en sont donc indépendantes et par conséquent exclues du périmètre du projet global Cigéo* ». L'Ae observe qu'un des arguments produit dans l'analyse des variantes à l'encontre de l'option de stockage très profond après entreposage dans les centres de stockage nucléaires existants tient à la nécessité de disposer de colis peu volumineux, ce qui n'est pas le cas des colis de déchets MA-VL⁴ actuels. Le choix du mode de stockage de très long terme, qui correspond à la phase irréversible de Cigéo, et les risques subséquents pour les générations futures sont donc étroitement liés au mode de conditionnement actuel des déchets. Pour l'Ae, l'argument du maître d'ouvrage indiquant que le mode de conditionnement des déchets est indépendant des conditions de fonctionnement du centre de stockage Cigéo ne peut donc pas être retenu. À l'appui de cette analyse, on ne doit pas exclure la nécessité d'un reconditionnement des déchets entreposés et déjà conditionnés ainsi que l'édiction de nouvelles normes de conditionnement à l'attention des opérateurs des installations nucléaires compte-tenu de la nécessité de prendre en compte les risques à très long terme.

En revanche, le mémoire en réponse souligne « *que les activités d'expédition et de transport de colis de déchets radioactifs depuis les sites des producteurs jusqu'au centre de stockage Cigéo sont liées au projet global Cigéo et sont donc intégrées dans l'analyse des impacts et des mesures environnementales du projet global Cigéo* » ce qui paraît pertinent.

³ [Avis émis sur le projet de centre de stockage Cigéo et réponses de l'Andra. Annexe 1 Mémoire en réponse à l'avis de l'Autorité environnementale.](#)

⁴ Déchets de moyenne radioactivité à vie longue

L'Ae réitère sa recommandation d'inclure, dans l'analyse des impacts et des mesures environnementales, les activités de traitement et de conditionnement des déchets.

1.2. Présentation du projet et des aménagements projetés

Les demandes d'autorisation en cours concernent la phase DR0 des aménagements préalables, composée des opérations suivantes :

- diagnostics et fouilles archéologiques sur les terrains d'accueil des futures installations de Cigéo et ses ouvrages connexes ;
- caractérisations géotechniques sur l'ensemble du périmètre d'emprise ou d'influence du futur centre de stockage, dont la voie ferrée d'accès au site (592 forages à des profondeurs⁵ de 25 à 715 m dont 195 piézomètres et deux campagnes d'imagerie sismique) ;
- réalisation de quatre plateformes de forages géotechniques de grande profondeur (maximum 715 m) pour étudier le comportement hydrogéologique des formations géologiques présentes sur le territoire d'implantation du futur centre de stockage Cigéo.

La figure 2 fournit une vision générale de l'ensemble des travaux prévus dans le cadre de cette phase DR0. Treize ouvrages profonds, dont douze pérennes équipés de piézomètres permettront d'explorer l'espace géologique situé entre 345 et 715 m de profondeur (pour rappel l'entreposage est prévu à 490 m de profondeur). L'imagerie sismique⁶ par réflexion et réfraction sera déployée de façon couplée avec les quatre forages profonds de la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) afin de compléter les informations sur les différentes couches géologiques et leurs interfaces et de leur hydrologie.

⁵ Chaque forage fait l'objet d'une fiche précisant ses caractéristiques, sa localisation, sa cartographie, les enjeux environnementaux et les incidences potentielles qu'il emporte.

⁶ L'imagerie sismique est une méthode géophysique d'observation de la subsurface. Elle permet de visualiser les structures géologiques en profondeur grâce à l'analyse des échos d'ondes sismiques. [Source Wikipédia.](#)

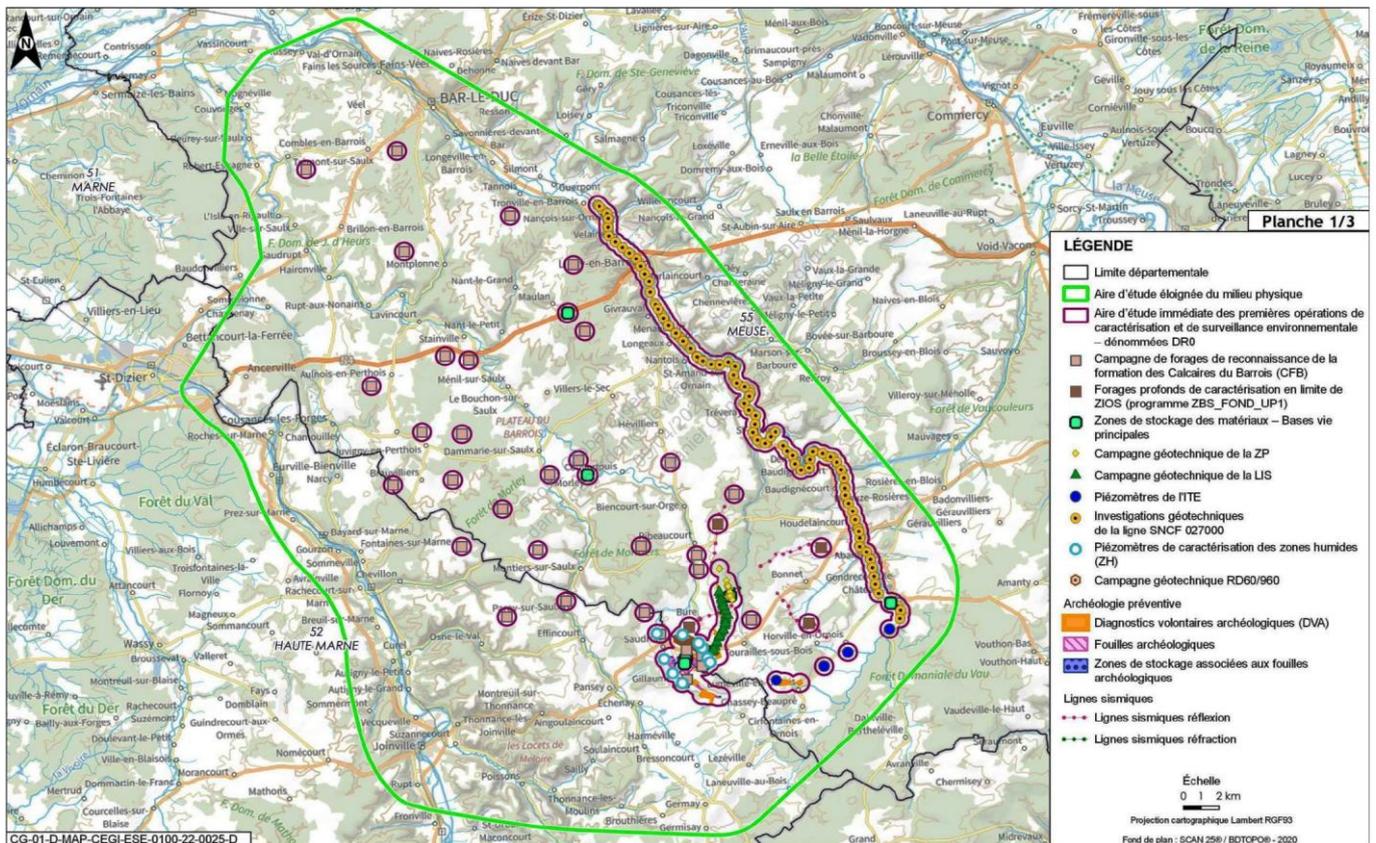


Figure 2 : Carte de localisation générale des travaux de l'étape DR0. On note les forages profonds matérialisés par des carrés beiges, les piézomètres de caractérisation des zones humides autour du site et les forages avec des cercles beiges au centre matérialisé notamment le long de la voie ferrée. Source : dossier. Une série de cartes de haute résolution à différentes échelles est disponible au sein de la pièce DAE8 Éléments graphiques de l'étude d'impact.

Les conditions de réalisation des sondages sont décrites avec précision.

Différentes investigations sont prévues pour caractériser les couches subsurfaciques d'implantation des installations, et pour préciser la caractérisation des zones humides. Les étapes ultérieures des aménagements préalables comportent des défrichements de zones d'accueil des versées⁷ au bois Lejuc, des travaux d'installation de zones de chantier, des bassins d'assainissement et quelques travaux concernant l'alimentation électrique, la mise à niveau de la ligne ferroviaire, la déviation de la D60/960 et l'adduction d'eau potable. La figure 3 cartographie les opérations de Cigéo.

Le dossier décrit les ajustements apportés au projet et les conséquences pour la phase DR0 :

- les études de conception menées par SNCF Réseau ont mis en évidence la nécessité de renforcer certaines culées de pont⁸ et de créer un bassin de gestion des eaux sur la commune de Gondrecourt-le-Château ;

7 Dépôt des déblais de la couche argileuse du callovo-oxfordien issu du creusement des ouvrages souterrains. Source dossier.

8 La culée d'un pont est la partie située sur la rive destinée à supporter le poids d'un tablier à poutre ou la poussée de la voûte d'un pont en arc. Source Wikipédia.

- le recalage de quelques dizaines de mètres de deux triptyques de sondages (pelle mécanique/piézomètre/sondage à la tarière) est requis afin de respecter la distance réglementaire de 35 m entre les ouvrages et les installations de gestion des eaux usées.

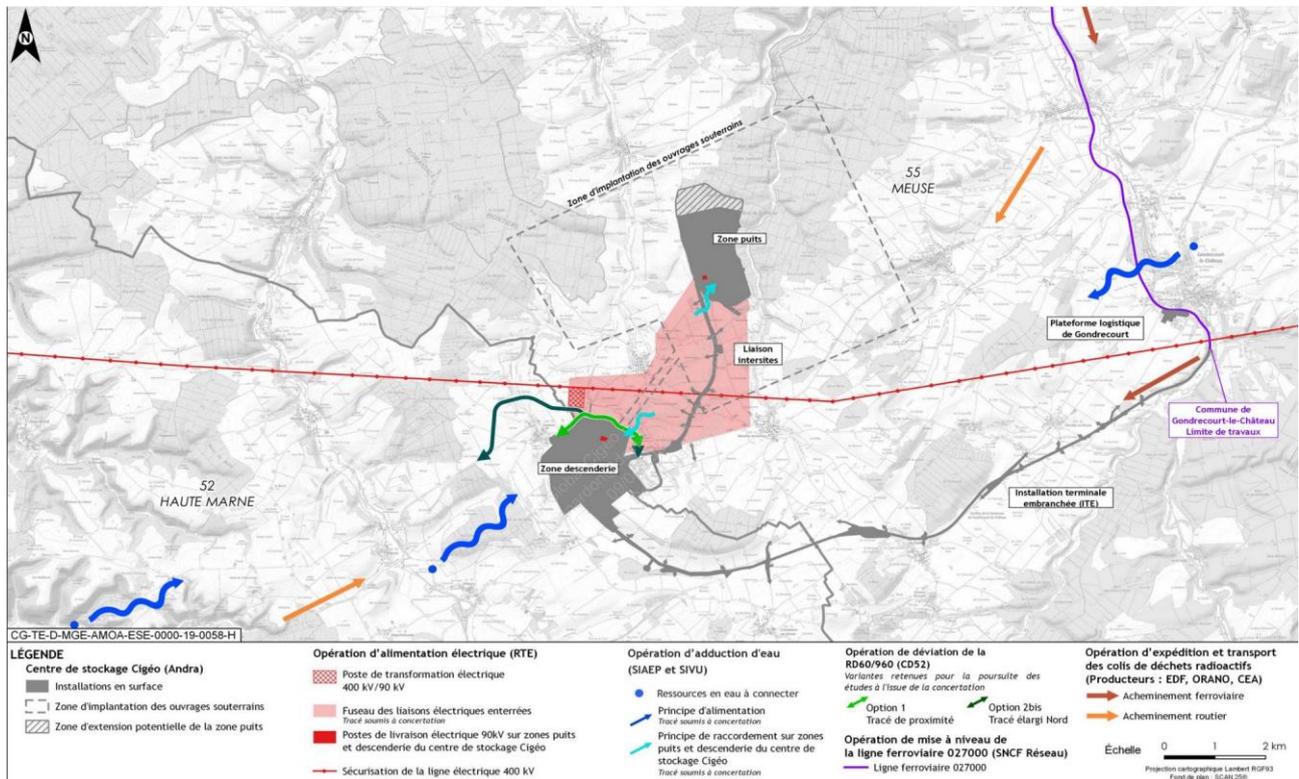


Figure 3 : Carte de localisation des opérations de Cigéo, on note l'étendue de la zone souterraine de stockage entourée d'une ligne pointillée. Source dossier.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de présenter la surveillance à long terme qui est prévue et les moyens employés pour diminuer les risques à long terme après fermeture du stockage.

Le mémoire en réponse indique que « *La surveillance à long terme prévue et les moyens employés pour diminuer les risques à long terme après fermeture seront détaillés de manière progressive lors des dossiers ultérieurs relatifs à l'installation nucléaire de base conformément à la réglementation (dossier de demande d'autorisation de création, dossier de mise en service, ...)* ».

Le dossier soumis aujourd'hui à l'Ae a été significativement modifié sur ce sujet, l'Ae détaille son analyse de ces évolutions au chapitre «Evaluations des risques pour la santé » page 33 du présent avis. La fermeture du site est prévue à l'horizon 2150. La protection de la santé humaine et des écosystèmes après ce terme pendant plusieurs dizaines de millénaires reste fondée sur la sûreté passive que garantit la capacité de la couche d'argilite⁹ à empêcher toute migration des substances radioactives sans intervention humaine pendant toute leur période de décroissance.

L'Ae considère que les mesures visant à garder la mémoire du site et à proscrire tout contact des habitants futurs du territoire doivent être portées dès aujourd'hui au débat public dans la mesure

9 L'argilite est une forme de roche sédimentaire argileuse indurée à grain fin et très peu perméable. Source Wikipédia.

où leur faisabilité, qui reste incertaine, devrait influencer les choix aujourd'hui opérés quant au stockage des déchets nucléaires.

L'Ae maintient sa recommandation de présenter, sans attendre la mise en place des déchets en profondeur, la surveillance à long terme (au-delà de 2150) qui est prévue et la manière dont sera perpétuée la mémoire du site pour prévenir les risques d'intrusion par forage dans le stockage après fermeture.

1.3. Procédures relatives au projet

La figure 2 détaille les procédures en cours et à venir d'ici la mise en service.

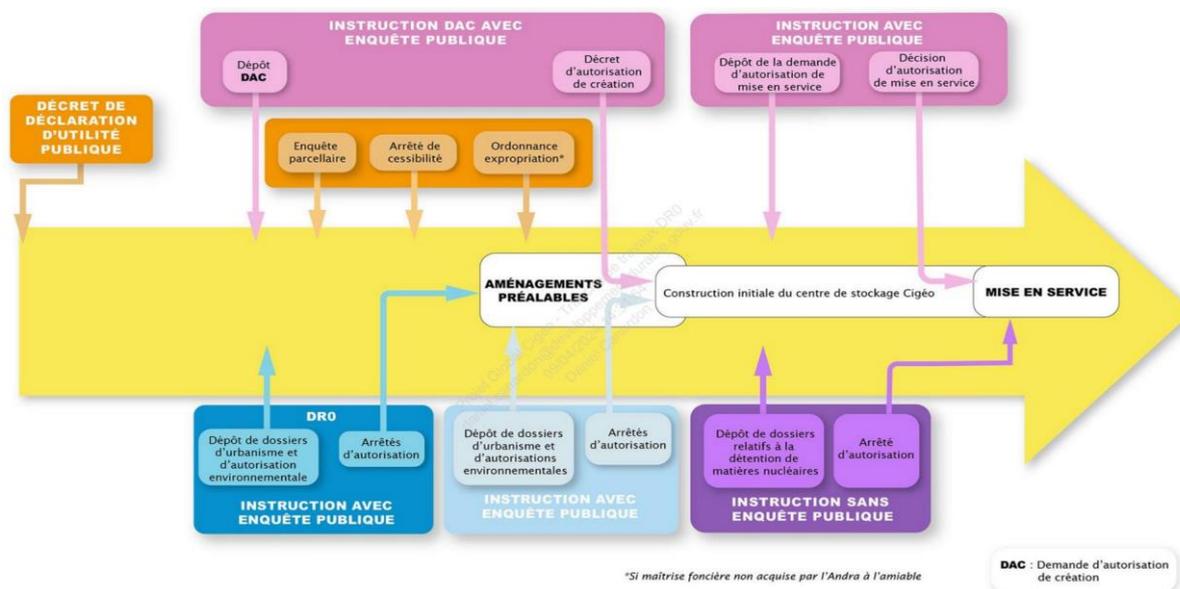


Figure 4 : procédures précédant la mise en service de Cigéo. Source dossier.

Conformément au code de l'environnement¹⁰, le maître d'ouvrage actualise l'étude d'impact au fur et à mesure des demandes d'autorisation (création de l'INB¹¹, autorisations environnementales, autorisations au titre du code de l'urbanisme) dès lors que des éléments significatifs justifient une modification de cette étude.

Le dossier comporte une copie de l'étude de maîtrise des risques du dossier d'autorisation de création, étude pour information ». La mise à disposition de cette étude de maîtrise des risques illustre une volonté bienvenue de transparence de l'Andra. Selon l'Ae toutefois, les risques étant des sources importantes d'incidences cette étude fait partie de l'étude d'incidences environnementales.

¹⁰ [Article L. 122-1-1 du code de l'Environnement](#) : « Lorsque les incidences du projet sur l'environnement n'ont pu être complètement identifiées ni appréciées avant l'octroi de cette autorisation, le maître d'ouvrage actualise l'étude d'impact en procédant à une évaluation de ces incidences, dans le périmètre de l'opération pour laquelle l'autorisation a été sollicitée et en appréciant leurs conséquences à l'échelle globale du projet. En cas de doute quant à l'appréciation du caractère notable de celles-ci et à la nécessité d'actualiser l'étude d'impact, il peut consulter pour avis l'autorité environnementale. »

¹¹ Installation nucléaire de base ([article L. 593-1 et suivants du code de l'environnement](#))

La demande de décret d'autorisation de création étant en cours d'expertise auprès de l'ASN, l'Ae n'est saisie à ce stade que d'un dossier de demande d'autorisation environnementale concernant les aménagements préalables, dite phase DR0. L'Ae sera sollicitée sur le dossier de création après que le dialogue entre le maître d'ouvrage et l'ASN aura abouti à une version du dossier validée par l'ASN. Le présent avis porte donc sur l'étude d'impact dans sa version actuelle qui comporte cependant aussi les éléments proposés par l'Andra pour le décret d'autorisation de création et l'analyse des incidences de la phase DR0.

Dans leurs contributions à cet avis, la préfecture de la Meuse et l'Agence régionale de santé (ARS) ont demandé de compléter l'étude d'impact pour plusieurs paramètres. Il conviendra de joindre ces compléments à la prochaine version de l'étude d'impact et d'y répondre spécifiquement pour ce qui concerne la phase DR0.

Le dossier comporte une demande de dérogation relative à l'interdiction de destruction d'individus et d'habitats d'espèces protégées, une évaluation des incidences sur les sites Natura 2000¹² et une déclaration relative aux IOTA¹³.

L'avis de 2021 : « *considérant la dimension exceptionnelle du projet et sa durée* » soulignait que « *la question d'activer les mécanismes de consultation internationaux prévus par la convention d'Espoo devra[it] avoir été réévaluée pour la demande d'autorisation de création du stockage* ». Le mémoire en réponse renvoie l'examen de cette question à l'instruction, en cours, du dossier de décret d'autorisation de création par les services de l'État.

Le projet Cigéo concerne les générations futures pendant une durée plurimillénaire. La population concernée ne peut être considérée comme étant celle des territoires sur lesquels se situe l'emprise du projet mais également celle des territoires et pays voisins, sachant que l'on ne peut inférer le découpage administratif à cette horizon temporel. Le devenir des déchets nucléaires est une problématique environnementale majeure qui s'inscrit dans les réflexions en cours au niveau européen sur l'énergie et le changement climatique, ce qui renforce l'intérêt d'une concertation large, bien au-delà de celle des seuls riverains actuels du projet. L'Ae considère toujours qu'il serait particulièrement opportun de mettre en place une consultation des pays voisins.

L'Ae recommande à l'État de mettre en place une consultation similaire à celle prévue par la convention d'Espoo et l'article R. 593-22 du code de l'environnement.

1.4. Principaux enjeux environnementaux du projet relevés par l'Ae

Pour l'Ae, les principaux enjeux environnementaux du projet, inchangés, sont les suivants :

¹² Les sites Natura 2000 constituent un réseau européen en application de la directive 79/409/CEE « Oiseaux » (codifiée en 2009) et de la directive 92/43/CEE « Habitats faune flore », garantissant l'état de conservation favorable des habitats et espèces d'intérêt communautaire. Les sites inventoriés au titre de la directive « habitats » sont des zones spéciales de conservation (ZSC), ceux qui le sont au titre de la directive « oiseaux » sont des zones de protection spéciale (ZPS).

¹³ Installations, ouvrages, travaux et activités soumis à autorisation ou à déclaration en application des articles [L. 214-1](#) à [L. 214-6](#)

- la sécurité après fermeture du site de stockage pour une période très longue, de plusieurs dizaines de milliers d'années ;
- le risque de dissémination de la radioactivité dans l'environnement notamment aquatique ;
- la préservation de la santé humaine du fait du risque d'exposition suite à la dispersion chronique ou accidentelle de substances radioactives dans l'air, les sols ou les eaux et de leur absorption par inhalation ou ingestion ;
- la protection des milieux naturels et de la biodiversité.

L'Ae souligne l'importance du premier enjeu et la double difficulté liée au fait qu'il est extrêmement difficile de concevoir des mesures efficaces pendant plusieurs dizaines de millénaires et à l'horizon temporel de la fermeture du site qui est lui-même éloigné (plus de 150 ans). Il reste que les choix d'aujourd'hui, notamment celui du stockage en couches géologiques sédimentaires de préférence à d'autres options, comme la transmutation¹⁴ ou le stockage à grande profondeur, conditionnent la sécurité pluriséculaire des déchets radioactifs. Or ces choix n'apparaissent pas suffisamment éclairés par une analyse des risques à très long terme fondée sur des scénarios imaginatifs d'utilisation du sol et du sous-sol. Il convient d'examiner les probabilités d'exposition des populations futures en fonction à la fois des perspectives de peuplement du site et des utilisations possibles du sous-sol. Cette exposition doit être analysée en fonction des effets potentiels d'un éventuel contact avec les déchets radioactifs. Concernant ce dernier point le dossier évoque une dose faible de 0,25 mSv¹⁵ dans un scénario *What if* mais ne précise pas la durée de contact involontaire avec les radionucléides qui aboutit à cette valeur.

Le dossier affirme que le choix d'un stockage réversible pendant une première phase suivie d'un scellement avec abandon ne reporte pas sur les générations futures le poids de la gestion des déchets. Cette assertion n'est pas étayée par une réflexion éthique et juridique sur la question de la transmission aux générations futures d'un sous-sol contaminé par des déchets radioactifs. C'est la réversibilité temporaire du stockage jusqu'à sa fermeture et le fait que celle-ci ne pourra être autorisée que par une loi qui fondent juridiquement la prise en compte des droits des générations futures, ce qui a été rappelé par le conseil constitutionnel dans une décision d'octobre 2023¹⁶. Le Conseil constitutionnel a à cet égard précisé que son contrôle du choix de la solution technique par le législateur est limité : « *Il n'appartient pas au Conseil constitutionnel de rechercher si les objectifs que s'est assignés le législateur auraient pu être atteints par d'autres voies, dès lors que les modalités retenues par la loi ne sont pas, en l'état des connaissances scientifiques et techniques, manifestement inappropriées à ces objectifs.* » Pour l'Ae, il importe de s'assurer que la génération qui aura à prendre la décision de fermeture sera bien éclairée sur les risques associés et ne verra pas son choix contraint par les coûts rédhibitoires, voire l'impossibilité du retrait des colis et la mise en œuvre d'une autre solution.

¹⁴ Transformation d'un nucléide en un autre par une réaction nucléaire. Source glossaire du dossier.

¹⁵ Le Sievert (Sv), du nom de Rolf Sievert (1896-1966), est l'unité dérivée du Système international utilisée pour mesurer une dose équivalente, une dose efficace ou un débit de dose radioactive (Sv/s, Sv/h ou Sv/an), c'est-à-dire pour évaluer quantitativement l'impact biologique d'une exposition humaine à des rayonnements ionisants.

¹⁶ [Conseil constitutionnel ; Décision n° 2023-1066 QPC du 27 octobre 2023](#)

2. Analyse de l'étude d'impact

L'étude d'impact a considéré une aire d'étude rapprochée et une aire d'étude immédiate ; une autre aire d'étude concerne la ligne électrique à très haute tension (400 000 V). Elle est très détaillée et de grande qualité. Elle comporte de nombreuses illustrations et des présentations didactiques des notions abordées. Chaque chapitre a une conclusion très claire.

2.1. État initial

2.1.1. Analyse exhaustive de l'état initial chimique et radiochimique

La contribution de l'IRSN au présent avis indique que l'Andra s'est engagée le 7 mars 2024 à mettre à jour, à l'aide des meilleures technologies disponibles, la caractérisation radiologique et chimique de l'environnement et de l'ensemble des radioéléments susceptibles d'être présents. Une base de données représentative du site sera mise en place. L'Ae souligne l'importance de disposer d'un tel jeu de données incluant les éléments, notamment les métaux lourds, connus avec la meilleure précision¹⁷. Cet inventaire à vocation à être mis à jour tout au long des avancées technologiques.

2.1.2. Milieux naturels et physique

2.1.2.1. Mise à jour du dossier et prise en compte des recommandations de l'Ae de 2021

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de compléter le dossier par l'analyse de la composition chimique des matériaux qui seront extraits du sous-sol pour constituer les verses afin d'évaluer le risque de transfert de matières solides toxiques dans l'air et les eaux.

Le mémoire en réponse et le dossier ont été complétés par la présentation de la composition chimique des argilites¹⁸ de la couche géologique du Callovo-oxfordien. Les valeurs présentées se situent dans la fourchette des valeurs du fond géochimique français et ne présentent donc pas de risque particulier pour l'environnement et la santé humaine.

Toutefois, ces valeurs proviennent de travaux déjà anciens qui devront être complétés afin de s'assurer que la présence de métaux lourds dans les verses est compatible avec leur dépôt à la surface du sol. La déstructuration des argilites par leur extraction puis leur stockage peut rendre les polluants plus sensibles au lessivage par la pluie et les infiltrations. Des mesures in situ des lixiviations compléteraient utilement les analyses des matériaux eux-mêmes.

Recommandation de l'Ae en 2021 : L'Ae recommande de réévaluer l'enjeu que constitue la nappe de l'Oxfordien.

¹⁷ Par exemple, dans son avis sur le stockage souterrain Stocamine l'Ae avait constaté que les analyses initiales des colis de déchets étaient erronées du fait des technologies de fluorescence X utilisées à l'époque de leur caractérisation.

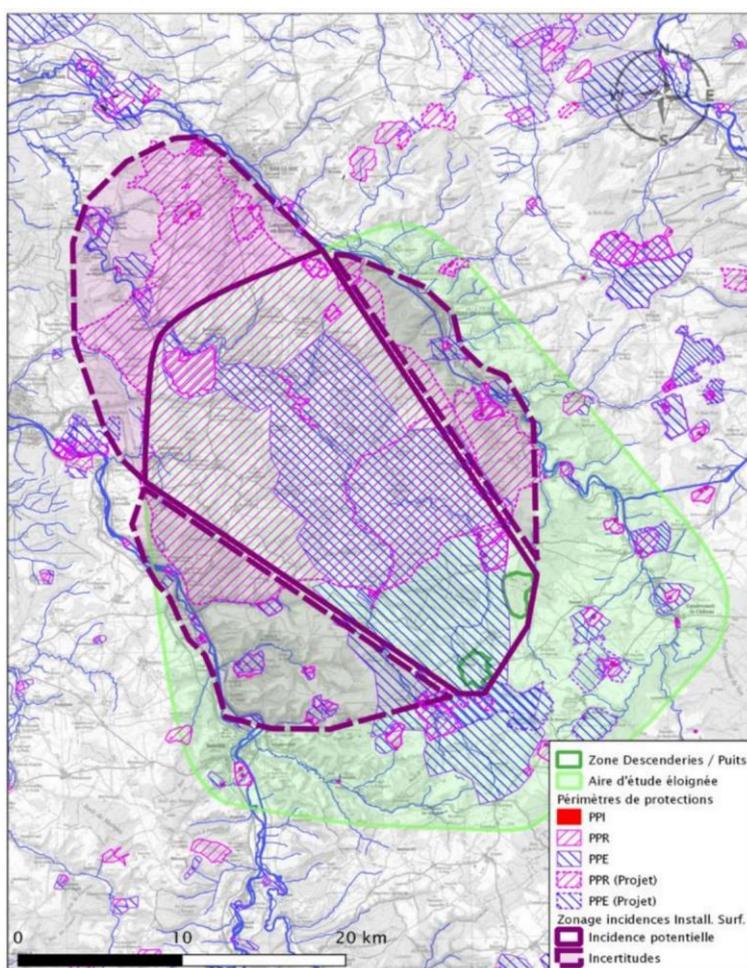
¹⁸ Cf. Étude d'impact volume III, 4.3.2.6.2 Composition et propriétés du Callovo-Oxfordien

Le mémoire en réponse justifie le maintien de l'enjeu modéré ou fort selon l'usage de l'eau attribué à la nappe de l'Oxfordien. Il est explicité que selon le niveau de fracturation de la roche la perméabilité varie et que la couche située à l'aplomb du stockage est de l'ordre de 10^{-8} m/s¹⁹ donc pratiquement inexploitable pour l'eau potable. Le dossier est complété en conséquence.

L'Ae recommande d'apporter les éléments permettant de confirmer les valeurs de perméabilité et de transmissivité des nappes contenues dans les couches enveloppant les argilites.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de produire la cartographie de l'aire potentielle d'influence des installations de surface et de la descenderie²⁰ sur les eaux souterraines.

La carte figure 5 est présente dans le mémoire en réponse mais n'a pas été retenue dans le chapitre sur l'état initial de l'étude d'impact. Ce dernier a cependant été modifié afin de fournir les explications nécessaires à la compréhension du fonctionnement des nappes sous l'influence des puits et de la descenderie.



¹⁹ À titre de comparaison, la perméabilité de la Couche callovo-oxfordien où sera creusé le stockage est de 10^{-13} m/s, c'est à dire qu'une molécule d'eau parcourt quelques centimètres en 100 000 ans.

²⁰ Ouvrage en pente reliant des installations situées à la surface à l'installation souterraine du centre de stockage Cigéo. Source glossaire du dossier.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande d'approfondir les possibilités de tracés pour la déviation de la route départementale 60/960, les canalisations d'adduction d'eau et le poste de transformation électrique du futur site afin de prendre en compte à un niveau approprié les enjeux relatifs aux zones humides et aux corridors de biodiversité dans le choix de la solution retenue pour l'implantation des installations de surface du centre de stockage.

Le dossier a été mis à jour pour tenir compte des évolutions des documents de planification, notamment les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (Sdage) Seine-Normandie et Rhin-Meuse, adoptés en 2022. Les cours d'eau classés comme réservoirs biologiques ont été listés. Le dossier souligne l'absence de zone de répartition des eaux dans l'aire d'étude éloignée. L'inventaire des zones humides a été approfondi et sera complété dans le cadre des aménagements préalables DR0 pour ce qui concerne le trajet de la déviation de la D60/960²¹ et l'opération d'adduction d'eau. Le maître d'ouvrage attribue un enjeu localement fort aux zones humides.

Le recensement des corridors écologiques est focalisé sur les déplacements des mammifères et des amphibiens ; il est observé dans le dossier que les grands massifs forestiers séparés par des zones d'agriculture intensive sont mal connectés. Le recensement des corridors concernés par les variantes de la déviation de la D60/960, l'adduction d'eau potable et de l'alimentation électrique n'a pas encore abouti.

L'Ae souligne l'importance d'achever les études écologiques rapidement au moment où de premiers travaux vont débiter, les options pour les opérations associées étant contraintes par les choix d'implantation déjà effectués des installations de surface.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande également d'assigner à la continuité écologique un niveau d'enjeu moyen, et fort pour le bois Lejuc.

Le dossier a été complété sur ce point, un niveau d'enjeu fort a été attribué à la continuité de la sous-trame boisée et de la sous-trame aquatique et humide au niveau de la zone puits dont l'emprise est de 10 % du bois Lejuc.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande d'approfondir les analyses de la flore et la faune de la zone des postes de transformation et de leurs raccordements électriques et de requalifier le cas échéant l'enjeu qui leur a été attribué.

Le maître d'ouvrage a choisi de regrouper l'ensemble des études de faune et de flore de la zone descendière, de la liaison intersites, de la déviation de la route départementale D60/960, du poste de transformation électrique 400/90 000 V et des raccordements souterrains aux zones puits et descendière. Ces études ont été complétées par de nouveaux inventaires de terrain. Les niveaux d'enjeu des habitats et des espèces identifient les niveaux local et national en tenant compte du statut réglementaire et du statut de conservation aux niveaux européen, national et local.

²¹ Les rapporteurs ont été informés oralement que le tracé était maintenant choisi, il s'agit du tracé de proximité nord.

Pour la flore, un niveau d'enjeu fort a été attribué à la Renoncule des champs, au Pâturin bulbeux, à l'Ortie brûlante, à la Laîche écailleuse, au Peigne de Vénus et très fort à la Filipendule vulgaire. Pour les insectes, un niveau d'enjeu fort a été attribué au Cuivré des marais, au Damier de la succise à l'Agrion de Mercure et au *Procræus tibialis*. Pour les mollusques le niveau d'enjeu est fort pour la Bytinelle des moulins. Pour les oiseaux, la Huppe fasciée, le Moineau friquet, le Tarier des prés, le Milan royal, le Busard cendré, l'Œdicnème criard et le Balbusard pêcheur présentent un enjeu fort. Aucun enjeu fort n'a été attribué aux amphibiens et aux mammifères, sauf pour les chauves-souris avec un enjeu fort pour le Grand Murin, le Murin à oreilles échanquées, le Petit Rhinolophe.

Les localisations des espèces inventoriées et de leurs habitats ont été systématiquement cartographiées. Parmi les habitats naturels d'intérêt communautaire, l'enjeu très fort a été attribué aux « *Cours d'eau intermittents x Forêts galeries de Saules blancs* » et « *Cours d'eau intermittents x bois de Frênes et d'Aulnes des rivières à eaux lentes x Végétation à Phalaris arundinacea x Bordures à Calamagrostis des eaux courantes* » et un niveau d'enjeu fort pour les « *Prairies des plaines* » et les « *Hêtraies calciclinales à Mélique* »

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de compléter l'inventaire de la biodiversité de la ligne électrique et d'y associer le conservatoire des espaces naturels de Champagne-Ardenne, gestionnaire de la réserve naturelle nationale de l'étang de la Horre.

Le mémoire en réponse indique que les analyses sont en cours et que le dossier sera complété pour le dépôt de la demande d'autorisation environnementale du raccordement électrique. Il confirme également que des contacts ont été établis avec le Conservatoire des espaces naturels de Champagne-Ardenne. La présentation de l'état initial n'a cependant pas évolué par rapport au dossier de déclaration d'utilité publique. Un ajout dans le chapitre sur les incidences sur les sites Natura 2000²² souligne qu'un seul poteau de la ligne est concerné par la ZSC et la ZPS de l'étang de la Horre et qu'aucun autre aménagement ne sera nécessaire ce qui permet de considérer que l'enjeu est faible.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de procéder sans tarder à l'établissement de l'état actuel de la biodiversité sur les sites envisagés pour la mise en place du système d'adduction d'eau du centre Cigéo.

Le mémoire en réponse précise que le trajet de l'adduction d'eau « *construite par les syndicats de gestion locaux pour relier le centre de stockage aux captages de Thonnance-lès-Joinville, d'Échenay et de Gondrecourt-le-Château* » n'est pas encore défini. Une évaluation plus précise sera mise en œuvre au moment de la demande d'autorisation de cette opération. Les relevés sont en cours sur le fuseau d'un kilomètre de large au sein duquel devrait être choisie l'implantation de la canalisation. Le dossier n'a pas été modifié sur ce point.

²² Les sites Natura 2000 constituent un réseau européen en application de la directive 79/409/CEE « Oiseaux » (codifiée en 2009) et de la directive 92/43/CEE « Habitats faune flore », garantissant l'état de conservation favorable des habitats et espèces d'intérêt communautaire. Les sites inventoriés au titre de la directive « habitats » sont des zones spéciales de conservation (ZSC), ceux qui le sont au titre de la directive « oiseaux » sont des zones de protection spéciale (ZPS).

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de procéder à l'évaluation de l'état actuel de la biodiversité des variantes de la future emprise des zones traversées par la déviation de la route départementale D60/960 avant le choix de la variante à retenir.

Le choix du tracé de la déviation de la route D60/960 a été arrêté après une concertation avec les élus, les agriculteurs et le public conduite par le conseil départemental du 31 janvier 2022 au 11 mars 2022. Il s'agit du tracé 2bis qui mixe l'option 1 au nord avec l'option 2 (cf. Figure 6). Les inventaires écologiques sont en cours afin de préciser l'état initial, évaluer les incidences et définir les mesures ERC.

2.1.2.2. Complétion des inventaires écologiques de la zone puits

Le dossier a également été complété par l'inventaire de la biodiversité de la zone puits sise au bois Lejuc. Les habitats « *Frénaies – chênaies à Corydale* » et « *Hêtraies calciclinales à Mélique* » ont été jugés d'enjeu fort. Pour la flore, l'enjeu fort a été attribué à l'Œillet couché. Les insectes à enjeu fort sont le Cuivré des marais, le Thécla de l'orme, et l'Agrion de Mercure. Le Milan royal est un oiseau d'enjeu fort. Chez les mammifères les enjeux forts sont attribués au Grand Murin, au Murin à oreilles échan-crées et au Petit Rhinolophe. Un enjeu fort à très fort est retenu par rapport à la typologie des espaces (zones humides, habitats naturels) pour la quasi-totalité des sondages relatifs à la voie ferrée.

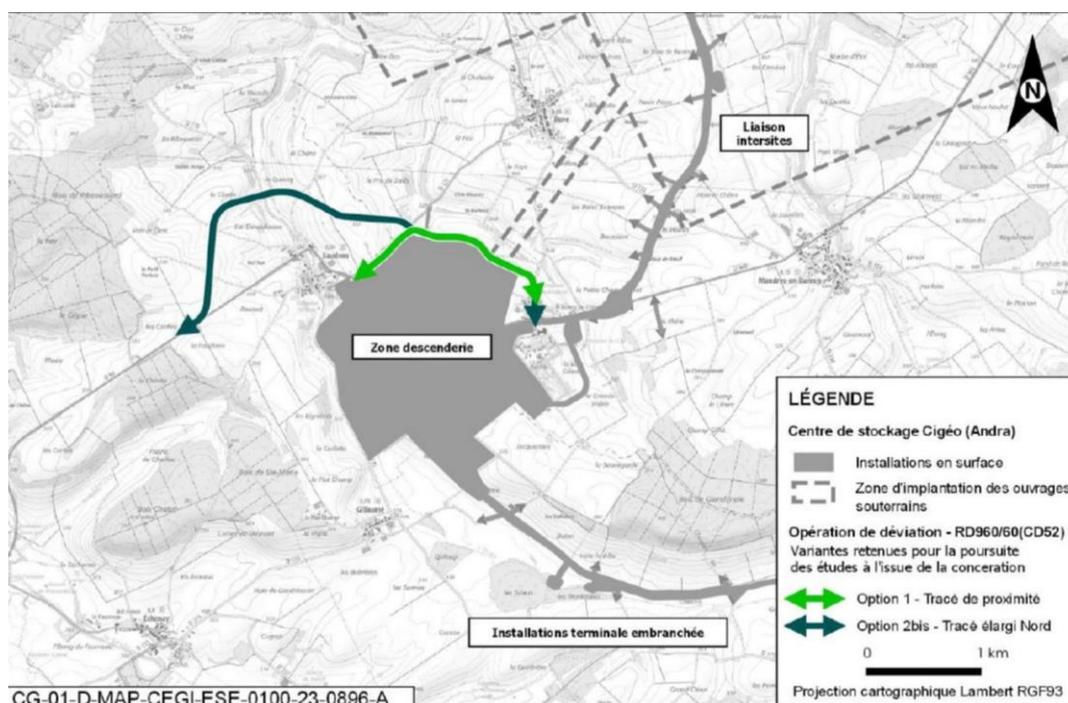


Figure 6 : carte des variantes de la déviation de la D60/960. Source dossier.

2.2. Analyse de la recherche de variantes et du choix du parti retenu

La mise à jour de ce volet apparaît dans le chapitre « 2.2 Le choix du stockage géologique parmi les différentes pistes de gestion des déchets radioactifs HA et MA-VL » du volume II de l'étude d'impact.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de présenter, dès le dépôt de la demande de déclaration d'utilité publique, un programme détaillé d'études complémentaires de maîtrise des risques et de surveillance, ainsi que d'indiquer les conclusions à atteindre, correspondant aux décisions à prendre à chacune des étapes.

Le mémoire en réponse et la partie du dossier consacrée à l'analyse des variantes soulignent l'importance de la phase industrielle pilote (Phipil) pour la poursuite de la connaissance du milieu et l'évaluation de la réversibilité du stockage. Cette phase comportera une première étape de construction et d'essais avec des matières non radioactives. Cette étape sera suivie, après autorisation de mise en service, d'une étape de stockage de colis radioactifs. Des essais de réversibilité du stockage seront entrepris. La Phipil est supposée pouvoir se conclure par une décision de retrait des colis et de démantèlement du projet, notamment si les conclusions des essais de retrait n'étaient pas satisfaisantes.

Le dossier décrit les jalons décisionnels impliquant l'ASN, le Parlement et la participation du public. La modification institutionnelle qui regroupe désormais, au sein de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection²³ (ASNR), l'expertise de l'IRSN et la décision de l'ASN implique une vigilance accrue en matière d'accès à l'information pour les citoyens. La loi a en effet modifié l'article L. 592-14 du code de l'environnement qui prévoit, concernant les expertises de l'ASNR, que « *[L]es résultats sont publiés de manière concomitante aux décisions auxquelles ils se rapportent, sauf pour les décisions pour lesquelles l'autorité en décide autrement, notamment au regard de la nature des dossiers concernés ou pour favoriser la participation du public, dans des conditions précisées par le règlement intérieur* » Il importe effectivement, afin de favoriser la participation du public en application notamment de la convention d'Aarhus, que celui-ci dispose de l'ensemble des résultats des expertises lors des débats qui précèdent les décisions et non pas au moment des prises de décision.

L'Ae recommande à l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection de prendre les dispositions qui permettent aux citoyens d'avoir accès aux résultats de ses expertises préalablement aux débats qui précèdent ses décisions.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de comparer les avantages et les inconvénients environnementaux, y compris à très long terme, des différents types de stockage pour pouvoir démontrer que le choix de la couche d'argilite du Callovo-oxfordien est bien le plus adapté pour engager aujourd'hui l'avenir sur plusieurs millénaires.

Les modifications du dossier ne concernent que les performances de la couche Callovo-oxfordienne mais n'abordent pas ce qui concerne les avantages éventuels d'autres types de stockage, notamment à grande profondeur. En revanche, une évaluation des risques après fermeture est fournie qui prend en compte le temps très long ; l'Ae l'analyse au chapitre « Risques après fermeture » page 38.

²³ L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) est créée au 1^{er} janvier 2025 par la [loi n° 2024-450 du 21 mai 2024 relative à l'organisation de la gouvernance de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour répondre au défi de la relance de la filière nucléaire](#).

L'Ae reprend ci-dessous quelques arguments pour mieux détailler les questions qui se posent encore en termes d'analyse des variantes.

Le chapitre sur le stockage en forages très profonds sur les centres nucléaires existants a été légèrement remanié avec une courte introduction qui insiste sur l'absence de réversibilité de ces stockages et sur l'impossibilité de réaliser des essais dans un laboratoire souterrain, ces deux obligations découlant du code de l'environnement. L'Ae observe que la référence à la législation en vigueur présente un caractère relativement faible eu égard à la durée anticipée du stockage. L'actualité montre que la réglementation nucléaire peut évoluer rapidement. Nonobstant la loi actuelle, si une solution s'avérait plus adaptée, le Parlement pourrait la modifier y compris en fonction le cas échéant des enseignements d'un débat public.

Une autre difficulté tient à la géométrie des colis de déchets MA-VL²⁴ qui seraient trop volumineux pour être enfouis facilement à très grande profondeur. À cet égard le caractère rédhibitoire du reconditionnement en colis adaptés des déchets MA-VL n'apparaît pas démontré.

Les différents avantages et inconvénients des options disponibles pour la gestion des déchets radioactifs de type MA-VL et HA²⁵ sont explorés dans le dossier par une analyse sur les critères suivants (les détails sont sur le tableau comparatif et commenté en annexe page 52) :

- « *capacité à prendre en charge tous les déchets HA de l'inventaire actuel ;*
- *production de déchets radioactifs pendant leur propre fonctionnement et démantèlement ;*
- *nécessité d'une filière suivante de gestion de déchets HA et MA-VL ;*
- *faisabilité technique pour notre génération ;*
- *nombre d'installations nucléaires nouvelles à créer ;*
- *progressivité de la construction, flexibilité et adaptabilité ;*
- *recupérabilité des colis ;*
- *incidence environnementale brute de la construction ;*
- *incidence environnementale brute du fonctionnement et du démantèlement ;*
- *incidence environnementale brute à long terme ;*
- *incidence sur les transports de colis de déchets radioactifs ;*
- *incidence sur la santé humaine et l'environnement en cas d'accident pendant le fonctionnement ;*
- *risques à long terme. »*

Cette comparaison souligne le caractère favorable du stockage géologique profond sur la plupart des critères utilisés, à l'exception, selon le dossier, incidence environnementale brute de la construction. L'Ae considère que le risque de contact avec les générations futures, jugé faible, reste entaché d'une forte incertitude. Une option qui consisterait à entreposer dans un premier temps les déchets sur les sites de production pendant la phase de mise au point du stockage en forages très

²⁴ Déchets de moyenne activité à vie longue

²⁵ Déchets de haute activité

profonds et le reconditionnement des colis MA-VL, suivie d'un stockage par forage à grande profondeur, qui rendrait très improbable pendant plusieurs millénaires l'accessibilité, même accidentelle, des colis, n'a pas été, selon l'Ae, suffisamment approfondie.

Le dossier a également été mis à jour en ce qui concerne les options choisies par les pays producteurs de déchets radioactifs et l'avancement de leurs projets. Cette analyse souligne le consensus existant entre ces pays sur l'intérêt du stockage profond en couches géologiques. Néanmoins hormis dans les pays scandinaves qui concernent des stockages en zones de socle²⁶, la plupart des projets sont actuellement dans une phase plus précoce que le projet français.

L'Ae recommande d'approfondir l'analyse des options de gestion des déchets, en prenant en compte l'accessibilité des déchets à très long terme et en décrivant plus précisément l'intérêt d'une option qui panacherait l'entreposage provisoire, le reconditionnement des déchets MA-VL et le stockage à terme par des forages très profonds.

2.2.1. Nature et choix des déchets à entreposer

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de présenter plusieurs scénarios plausibles et contrastés de définition du gisement de déchets devant être stockés sur Cigéo, d'en analyser les avantages et inconvénients en termes de durée de vie, d'environnement et de sécurité et de justifier le parti retenu.

L'Andra a précisé sa stratégie concernant l'évolution des déchets potentiellement stockables par Cigéo et amendé le dossier ainsi que l'étude de maîtrise des risques du dossier de demande de décret d'autorisation de création. Deux scénarios principaux sont étudiés : le prolongement de la durée de fonctionnement des centrales actuelles et le renoncement à l'utilisation, par l'industrie nucléaire, des matières de l'inventaire de réserve issues du retraitement des combustibles usés. Un scénario additionnel est étudié consistant à enfouir des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL).

Selon le dossier, la relance du programme électronucléaire, avec la construction de six nouveaux EPR, ne change pas fondamentalement la nature des déchets. L'Ae a consulté le rapport de l'IRSN n°2024-00051²⁷ qui mentionne néanmoins que : « *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* ».

Pour l'Andra, l'éventualité d'un stockage de l'inventaire de réserve impliquerait des adaptations et des demandes d'autorisation qui ne poseraient pas de problème rédhibitoire. Le dossier insiste également sur la réversibilité du stockage permettant à tout moment de reprendre des déchets

²⁶ En géologie, un socle, appelé aussi socle cristallin, désigne une structure géomorphologique constituée d'un ensemble rocheux induré composé de roches métamorphiques ou magmatiques plissées puis pénéplanées formées au cours d'un ou plusieurs cycles orogéniques. Source Wikipédia.

²⁷ [Avis IRSN n°2024-00051](#)

stockés. Parmi les conséquences prévisibles, l'Ae note que cela entraîne un allongement de la durée de fonctionnement du centre de stockage et un accroissement du volume à stocker. À ce jour l'étendue exacte des travaux souterrains n'est pas connue avec précision. Sa surface est estimée aujourd'hui à une centaine de km², mais pourrait s'accroître fortement avec le choix de stocker à Cigéo de nouveaux déchets ou matières nucléaires compte tenu de la relance du programme nucléaire.

L'Ae recommande d'estimer les conséquences quantitatives des différentes options de développement de l'énergie nucléaire sur le volume des déchets à stocker et sur l'emprise des travaux souterrains subséquents.

2.2.2. Choix d'implantation des installations

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de reprendre, une fois complétée la connaissance de l'état actuel, la comparaison des incidences environnementales de plusieurs variantes d'implantation des différentes composantes du projet.

Le dossier a été amendé sur cette question. Un rappel des étapes ayant conduit aux décisions d'implantation actuelles entre 2005 et 2014 est fourni. Selon le dossier, les choix ont été gouvernés principalement par le souhait de préserver la santé humaine et l'environnement. Les options pour le stockage profond ont privilégié les massifs forestiers afin de « recherche[r] un équilibre entre les consommations de terrains agricoles et de terrains forestiers, demande qui résulte de la concertation avec le territoire ». Le dossier confirme également que le choix d'implantation de la descenderie provient d'un courrier du 9 mars 2010 du ministre chargé de l'environnement qui a demandé à l'Andra de veiller « à étudier l'implantation de l'entrée de la descenderie pour le stockage dans la zone limitrophe de Meuse/Haute-Marne ». Le mémoire en réponse, mais pas le dossier, souligne également que les espaces sensibles ont été évités mais que le bois Lejuc, in fine retenu, n'était pas classé en Znieff²⁸ à l'époque du choix. Il est ajouté que la localisation de la descenderie sur la commune d'Houdelaincourt avait été envisagée mais écartée du fait de la proximité d'urbanisation, d'espaces naturels sensibles et de pentes plus fortes.

L'Ae reste interrogative sur les conséquences environnementales de la prise en compte de considérations d'équilibre des produits fiscaux entre départements pour un projet d'ampleur nationale de durée plurimillénaire. Le biais ainsi engendré ne peut être évalué au vu du dossier mais un doute subsiste quand on considère que le choix du bois Lejuc, malgré son intérêt écologique, même s'il a été officialisé tardivement, tient également à la distance avec la descenderie. De fait la comparaison des incidences environnementales est réelle pour ce qui est du choix des zones d'implantation mais reste peu convaincante pour le choix au sein de ces zones qui semble inféodé à une seule option, interdépartementale, pour la descenderie.

²⁸ Lancé en 1982 à l'initiative du ministère chargé de l'environnement, l'inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique faunistique et floristique (ZNIEFF) a pour objectif d'identifier et de décrire des secteurs présentant de fortes capacités biologiques et un bon état de conservation. On distingue deux types de ZNIEFF : les ZNIEFF de type I : secteurs de grand intérêt biologique ou écologique ; les ZNIEFF de type II : grands ensembles naturels riches et peu modifiés, offrant des potentialités biologiques importantes.

2.2.3. Les options de développement du territoire

Recommandation de l'Ae en 2021 : L'Ae recommande de justifier, au regard du principe de précaution et du nécessaire contrôle de la société sur le stockage à long terme, le projet de développement du territoire qui en l'état actuel augmente le niveau d'enjeu face au risque d'exposition à la radioactivité et risque de banaliser le territoire ;

Recommandation de l'Ae en 2021 : L'Ae recommande d'évaluer l'intérêt de solutions alternatives qui permettraient de diminuer le risque à très long terme et, à tout le moins, de déterminer les conditions d'une compatibilité à long terme entre l'activité de stockage et les autres activités du territoire.

Le mémoire en réponse souligne le fait que selon le maître d'ouvrage « *Cigéo est conçu pour n'avoir aucun impact significatif sur la santé des personnes ou sur l'environnement en fonctionnement normal et après fermeture* » ce qui justifierait que le centre de stockage soit compatible avec une activité économique normale, quel que soit l'horizon temporel. Il est ajouté que le maintien de l'activité humaine est « *un facteur favorable de préservation de cette mémoire, l'articulation étroite projetée entre le développement territorial et le déploiement du centre stockage renforçant le maintien de cette mémoire* ».

Le dossier souligne la nécessité de maintenir la « *mémoire de l'existence du centre de stockage, de sa fonction, de la dangerosité des déchets qu'il renferme et de sa conception* » laquelle « *dépend de la pérennité des mesures mises en œuvre lors de l'archivage des documents institutionnels et des dispositifs de transmission intergénérationnelle* ». Il mentionne également le point de vue de l'ASN selon laquelle « *la perte de mémoire de l'existence du stockage peut être raisonnablement située au-delà de 500 ans après sa fermeture définitive* »²⁹. Ces éléments expliquent que l'Andra ait engagé des travaux visant la transmission intergénérationnelle des informations sur le centre de stockage. L'analyse du chapitre sur les risques après fermeture montre également que l'évaluation des scénarios de contact des générations futures avec les alvéoles de stockage n'est pas probabilisée. L'Ae comprend que la réflexion sur la mémoire et le futur n'est pas encore aboutie.

Il convient cependant de démontrer l'assertion selon laquelle une activité humaine est un facteur favorable de maintien de la mémoire et surtout d'évaluer, parmi toutes les activités humaines possibles, celles qui maximisent le maintien de la mémoire et diminuent le risque d'exploitation d'un sous-sol dangereux. Par exemple, l'hypothèse de générations futures subissant à la fois les effets du changement climatique et une pénurie d'énergie, qui ne saurait être exclue, accroît la probabilité de recours au stockage de chaleur et de froid dans le sous-sol.

L'Ae constate que plusieurs actions volontaristes en faveur du développement du territoire sont en cours qui pourront avoir pour effet un accroissement démographique alors même que la situation actuelle est celle d'une déprise. La concertation sur le mode de développement le plus susceptible

²⁹ Les rapporteurs ont été informés lors de la visite que l'Andra travaillait à des solutions de maintien de la mémoire sur une durée plus longue.

de diminuer les risques à long terme semble biaisée par le souci d'acceptabilité du centre de stockage par le territoire en contrepartie d'un développement économique. Ce choix de favoriser le développement, qui comporte un caractère irréversible, a donc été fait avant même que la réflexion sur la mémoire ne soit aboutie. Il pourrait être incompatible avec un sous-sol enrichi par le stockage de déchets radioactifs.

L'Ae appelle de ses vœux un débat plus général et ouvert, compatible avec la dimension nationale du centre de stockage, nourri de plusieurs hypothèses d'évolution de ce territoire, y compris celle d'une protection par un processus de renaturation et de protection stricte de milieux naturels non anthropisés.

L'Ae recommande d'élargir et d'ouvrir, sans délai, au-delà du territoire local, le débat sur les options permettant de maximiser la durée de mémorisation des activités du centre de stockage et de minimiser les risques de contact dans un futur lointain des populations avec les colis de déchets.

2.3. Analyse des incidences du projet et des mesures d'évitement, de réduction et de compensation

2.3.1. Milieux naturel et physique

2.3.1.1. Modifications au regard des recommandations de l'Ae de 2021

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de porter l'analyse des émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du projet, mais aussi au regard de celles de la filière nucléaire.

Le dossier a été mis à jour sur ce point et propose une estimation de la part de Cigéo dans l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre de la filière de production d'électricité d'origine nucléaire qui serait de 4 à 9 %. Ce taux non négligeable concerne cependant un mode de production d'énergie électrique particulièrement sobre en émissions de gaz à effet de serre. L'Ae souligne l'importance de mettre à jour cette analyse en fonction de l'évolution de la filière nucléaire, notamment des choix qui seront opérés quant au devenir de l'inventaire de réserve³⁰.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande d'harmoniser les données du chapitre concernant les incidences sur la qualité de l'air avec celles du chapitre de l'évaluation des risques sanitaires en justifiant le cas échéant le recours à des modèles de dispersion différents.

³⁰ Les types de déchets susceptibles d'être stockés dans le centre de stockage en couche géologique profonde sont précisés dans les inventaires dits « de référence » et « de réserve », définis par l'article D. 542-90 du Code de l'environnement.

L'inventaire de référence regroupe les déchets HA et MA-VL déjà produits, ainsi que les déchets de fonctionnement et de démantèlement des installations en exploitation ou autorisées à fin 2016. Il prévoit une durée moyenne de fonctionnement du parc électronucléaire français de 50 ans, ainsi que l'exploitation de l'EPR de Flamanville. En revanche, il ne prend pas en compte les matières et déchets engendrés par le fonctionnement et le démantèlement de nouveaux réacteurs. L'inventaire de référence est estimé à environ 10 000 m³ de déchets HA, et 73 000 m³ de déchets MA-VL. L'inventaire de réserve comprend des combustibles usés non-retraités, des combustibles usés issus de réacteurs de la recherche, des déchets F-VL, ou encore des produits de fission vitrifiés en cas de prolongement de la durée d'exploitation des réacteurs. (Source asn.fr)

Le mémoire en réponse explicite la différence entre les deux modèles utilisés : le modèle Ceres, intégré, permet de calculer les niveaux de dépôt au sol et les doses d'exposition humaines et du reste de la biosphère ; le modèle Impact produit une cartographie du panache polluant dans l'atmosphère. La convergence de ces deux modèles sur les concentrations dans l'air est soulignée.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de préciser la quantité cumulée de radionucléides dans les sols en fin d'exploitation, la nocivité associée, et leur devenir pendant la phase de stockage pérenne.

Le mémoire en réponse fournit les éléments de réponse qui ont été joints au dossier et ajoutés au dossier d'étude d'impact conformément à la recommandation de l'Ae. À l'issue des 150 ans d'exploitation, le cumul de radioactivité, issue de toutes les sources, dans les sols sera indétectable et très inférieur au niveau de bruit de fond naturel.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de :

- **mieux caractériser le fonctionnement et la dynamique du fossé de Gondrecourt afin d'étayer la justification du lieu d'implantation des ouvrages souterrains,**
- **démontrer que le caractère asismique de la couche géologique de la zone d'implantation des ouvrages reste avéré à l'aune des nouveaux éclairages sur la sismicité en France à la suite du séisme du Teil en 2019.**

Le mémoire en réponse a repris sur ce sujet le texte de l'évaluation environnementale sans apporter de complément. La carte du contexte tectonique local présenté sur la figure 7 illustre les raisons qui ont conduit l'Ae à demander des précisions, le site se situant à proximité (1 à 3 km) du fossé de Gondrecourt alors même que des implantations quelques kilomètres plus au nord se situeraient dans une zone sans aucune faille connue ou suspectée.

L'avis 2024-00051 de l'IRSN, déjà cité, ne mentionne pas le fossé de Gondrecourt mais souligne la présence de failles d'orientation nord-sud, non représentées sur la figure 7, au nord des quartiers de stockage des colis HA et recommande de mettre en œuvre un programme de reconnaissance de ces structures avant creusement des galeries.

Sans remettre en cause la pertinence des modélisations réalisées par les géologues qui concluent à une absence de mouvements tectoniques depuis au moins 2 millions, voire 25 millions d'années, il conviendrait, pour que le public comprenne bien le choix d'implantation du site à proximité du fossé de Gondrecourt, de fournir les éléments détaillés des différentes options d'implantation du site au sein de la zone de transposition, notamment au regard du critère d'éloignement des failles géologiques.

Les chapitres sur les risques sismiques ont été complétés par une analyse du séisme du Teil qui conclut à une situation de la sismicité dans la vallée du Rhône non transposable aux franges du bassin parisien.

les évolutions du spectre des déchets à stocker et les aspirations de la société. L'Andra souligne également que les décisions de mise en œuvre de la réversibilité dépendent des pouvoirs politiques successifs et pas du maître d'ouvrage. Pour l'Ae, l'étape technique clé reste la démonstration de réversibilité prévue au début du fonctionnement de l'installation avant l'autorisation de continuation mentionnée sur la figure 1 page 6

Recommandation 2021 : L'Ae recommande d'analyser de manière plus approfondie la compatibilité du projet avec le schéma régional des carrières et de fournir une estimation des origines des matériaux utilisés.

Le schéma régional des carrières (SRC) est toujours en cours d'élaboration au moment de délibérer le présent avis. L'Ae en a connaissance et a délibéré un avis sur son étude d'incidences environnementales et sur la prise en compte de l'environnement³².

L'Andra rappelle dans son mémoire en réponse s'être appuyée sur les schémas départementaux des carrières de la Meuse et de la Haute-Marne. Le dossier comporte une description des sources de matériaux en regard des besoins de Cigéo et souligne la compatibilité du projet avec les deux schémas analysés. Le volet sur les ressources du projet de SRC de la région Grand Est³³ mentionne le projet Cigéo sans apporter d'élément concret sur l'adéquation entre les ressources et les besoins. L'Andra ne fait pas partie des établissements publics représentés au comité de pilotage de l'élaboration du SRC. Le projet de SRC tient compte des besoins en matériaux de la construction de Cigéo et de l'installation terminale embranchée (besoins en ballast). Il identifie une possibilité de valorisation des matériaux extraits (verses) qui pourraient servir à remblayer des carrières sans toutefois fournir de détails sur cette possibilité. L'Ae considère qu'il serait utile d'approfondir les options de valorisation des verses et de mettre en cohérence les besoins de Cigéo ainsi que les ressources futures constituées par les matériaux extraits du sous-sol dans le SRC.

L'Ae recommande à l'État de renforcer la prise en compte du projet Cigéo dans le projet de schéma régional des carrières de la région Grand-Est

Recommandation 2021 : L'Ae recommande d'augmenter les capacités de stockage des eaux de ruissellement.

Le dossier a été complété sur ce point. Les eaux de ruissellement seront traitées de la même manière pour les sites, la liaison intersites et la plateforme ferroviaire. Deux bassins « qualitatifs³⁴ » permettront la décantation des eaux et la filtration du décantat sur filtre à sable. Chacun est dimensionné pour contenir les eaux de ruissellement ayant une chance sur deux de se produire chaque année (fréquence biennale). Les eaux issues de ces bassins rejoignent ensuite des bassins « quantitatifs » dimensionnés pour une pluie centennale. Les bassins qualitatifs fonctionnent alternativement afin

³² [Avis Ae 2024-02 du 25 avril 2024](#)

³³ https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2024_01_10_src_ge_tome_2_etat_des_lieux_avp1.pdf

³⁴ C'est à dire conçus pour améliorer la qualité de l'eau.

de permettre la maintenance d'un bassin pendant que son *alter ego* est en service. Le dossier indique que les eaux polluées de façon chronique ou accidentelle « *ne seront pas rejetées sans traitement sans passer par ces bassins* ». L'Ae souligne qu'en cas de pluie de fréquence moindre que biennale des eaux de débordement des bassins qualitatifs rejoindront les bassins quantitatifs qui ne semblent pas équipés pour le traitement qualitatif des eaux.

L'Ae recommande de préciser comment la pollution des eaux pluviales de fréquence moindre que biennale seront traitées avant rejet dans le milieu.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de quantifier et qualifier les impacts potentiels et résiduels sur les eaux et de préciser les mesures ERC, leurs objectifs de résultats et les protocoles de suivi, et de les compléter pour les impacts des eaux de ruissellement et de percolation des verses.

Le dossier a été complété de façon détaillée. L'état initial a inclus les concentrations de substances susceptibles d'être rejetées dans les eaux superficielles et les rendements épuratoires attendus. Les dispositifs de traitement des eaux pluviales, des eaux de fond et des eaux industrielles sont détaillés, ces deux dernières étant recyclées au sein de l'installation pour des usages d'eau non potable. L'objectif est d'atteindre des eaux recyclées ou rejetées d'une qualité compatible avec les critères de qualité du bon état chimique et écologique des cours d'eau récepteurs. Le mécanisme de suivi est décrit, le dossier indique qu'il sera compatible avec les exigences environnementales édictées par l'État.

Un effort important a été consenti pour la connaissance des verses ; les concentrations de substances chimiques issues du ruissellement sur les verses sont fournies ainsi que les rendements attendus du système de traitement. Les verses seront déposées sur une couche à perméabilité faible puis végétalisées afin de limiter l'érosion et l'entraînement de substances polluantes.

Le dossier aborde également le cas des eaux dites « non conventionnelles » c'est à dire celles qui ont pu transiter à proximité des déchets radioactifs ; le volume de ces eaux est très faible, moins de 100 m³ entre la mise en service et 2080, et leur radioactivité inférieure à 100 Bq³⁵. Elles seront collectées et acheminées vers un centre de traitement des effluents radioactifs liquides.

En ce qui concerne les eaux potables, l'ARS demande, dans sa contribution à cet avis, de proscrire les forages dans les périmètres de protection rapprochée des captages d'eau destinée à la consommation humaine non soumis à déclaration d'utilité publique. Cela concerne les forages CIG1666 et CIG 1667.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande d'approfondir la démarche ERC relative aux impacts quantitatifs sur la ressource en eau, en particulier pour ce qui concerne les possibilités de recharge de nappe et de réduction de l'artificialisation.

³⁵ La radioactivité se mesure en Becquerel (Bq). Un Bq correspond à la désintégration d'un noyau radioactif par seconde. On parle aussi de MBq (millions de Becquerels) ou de GBq (milliards de becquerels). La radioactivité dans le corps humain est d'environ 120 Bq/kg. Celle d'un gramme de radium est 37 GBq (37 milliards de Bq).

Des modélisations des incidences quantitatives résiduelles sur les ressources en eau ont été ajoutées au dossier. Les incidences sont toutes faibles à très faibles, les plus importantes se situant au niveau du stockage des déblais et du rabattement de la nappe des calcaires du Barrois du fait de l'ouvrage de protection contre les remontées de la nappe d'eau souterraine de la descenderie. La conclusion est qu'il n'y a pas lieu de mettre en place des mesures compensatoires. L'IRSN souligne cependant dans son avis 2024-00051 qu'il convient de poursuivre le travail de caractérisation des calcaires du Barrois afin de comprendre le fonctionnement de l'aquifère et de détecter toute éventuelle cavité.

S'agissant d'une tête de bassin, les prélèvements doivent être comparés à la ressource en eau limitée du secteur pour en évaluer l'enjeu. Il ne faut pas négliger l'impact des prélèvements sur la piézométrie du secteur et donc sur les aires d'alimentation et les périmètres de protection des captages d'eau potable qui devront être redéfinis. L'Ae rappelle sa recommandation de proposer des mesures ERC s'agissant des prélèvements d'eau.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de mettre en œuvre la séquence éviter, réduire, compenser sur le corridor forestier régional qui traverse le bois Lejuc en prévision des impacts des premiers travaux de défrichement.

Le mémoire en réponse exprime la volonté de l'Andra de satisfaire cette recommandation. Le dossier a été complété par une mesure d'évitement permettant la conservation d'un corridor en lisière du bois Lejuc (figure 8) et une mesure de réduction qui consiste à créer un réseau de haies entre la forêt de Grammont et le nord du bois Lejuc.



Figure 8 : mesure d'évitement concernant la continuité écologique au niveau de la zone puits. Source dossier.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande :

- de justifier l'utilisation de la méthode miroir pour le calcul de la dette écologique, en lieu et place de la méthode préconisée par le ministère de la transition écologique ;
- de faire évaluer et valider les propositions de quotas de compensation par un conseil scientifique indépendant ;
- d'évaluer les besoins de compensation des zones humides sur la base de leur fonctionnalité ;
- de revoir l'équivalence géographique sur des critères éco-géographiques et non administratifs.

Le dossier est complété par la présentation de la méthode miroir qui est une « méthode de compensation par écart de milieux, pondéré par un coefficient multiplicateur en fonction de l'intérêt qu'un milieu représente pour une espèce (ou un cortège), [...] développée par CDC Biodiversité. Cette méthode est en cohérence avec « l'approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique » portée par le ministère de la Transition écologique, l'Office français de la biodiversité (OFB) et le Cerema sortie en mai 2021 (12). Elle consiste à quantifier et à qualifier la

perte ou dette écologique liée aux impacts du projet, puis à reconstituer par des mesures compensatoires un gain écologiquement équivalent. Le besoin compensatoire (tout comme le gain écologique) est défini en « unités de compensation" (UC). »

Le mémoire en réponse apporte les justifications recommandées par l'Ae, ces justifications ont été portées au dossier. L'Ae note toutefois que l'Andra, tout en soulignant l'intérêt de la mise en place d'un conseil scientifique indépendant pour valider les propositions de quotas de compensation, considère qu'il « *n'appartient pas à l'Andra de le constituer, ni d'en définir [la] gouvernance* ». L'Ae rappelle qu'il est de pratique courante que des agences et établissements publics de l'État se dotent d'instances indépendantes comme des conseils scientifiques ou des comités d'éthique, en confient la présidence à une personnalité reconnue et en assurent, sinon la gouvernance, le secrétariat. Néanmoins, la recommandation s'adresse avant tout à l'État. L'importance du projet et les surfaces concernées justifieraient pleinement un tel conseil scientifique qui pourrait être désigné par le Conseil scientifique régional du patrimoine naturel et de la biodiversité.

L'Ae réitère sa recommandation de solliciter le préfet pour lui demander de mobiliser le conseil scientifique régional du patrimoine naturel et de la biodiversité afin de valider les mesures visant à respecter l'absence de perte nette de biodiversité du fait du projet.

2.3.1.2. Incidences spécifiques des opérations d'aménagement préalables DR0

Le dossier identifie l'ensemble des espaces d'intérêt écologique (Znieff, sites Natura 2000, Espaces naturels sensibles (ENS)). L'étude d'impact met en évidence des impacts notables sur les Znieff sur lesquelles les aménagements sont implantés ainsi que sur les espèces, ce qui justifie la demande de dérogation relative à l'interdiction de destruction d'individus et d'habitats d'espèces protégées. Les pollutions constituent également des incidences jugées comme notables sur les milieux naturels. Le tableau 1 récapitule les incidences notables sur les milieux.

Le dossier précise, au sein de la liste des mesures d'évitement et de réduction de l'ensemble du projet Cigéo, celles qui concernent les incidences brutes des opérations d'aménagement préalables DR0. Une seule mesure d'évitement est proposée qui consiste à ne pas implanter de dispositif dans les zones à enjeu. Les emprises étant ponctuelles, au regard de l'étendue du site, des déplacements de quelques hectomètres suffisent à éviter ces zones à enjeux.

Incidences potentielles		Premières opérations de caractérisation et de surveillance environnementale
Zonages environnementaux		Notable
Zones humides		Non notable
Continuités écologiques		Non notable
Habitats et espèces	Destruction/dégradation des habitats d'espèces	Notable
	Destruction d'individus	Notable
	Perturbation des espèces	Notable
	Dégradation des fonctionnalités écologiques	Notable
	Altération biologique et chimique des milieux	Notable
Pollutions radiologiques et conventionnelles	Pollutions radiologiques	Non notable
	Pollutions conventionnelles	Notable

Tableau 1 : incidences des opérations d'aménagement préalables DR0 sur les milieux naturels. Source dossier.

Les mesures de réduction consistent à végétaliser les terres excavées et stockées plus d'un an, adapter les périodes de travaux à la sensibilité des espèces, mettre en défens les haies, espaces arbustifs et zones humides, gérer les espèces exotiques envahissantes et adopter des mesures de management environnemental. Toutes les mesures sont décrites avec force détails dans le dossier.

Les mesures générales de management environnemental, de sensibilisation et formation du personnel et de gestion des pollutions accidentelles de l'ensemble des chantiers de Cigéo s'appliquent également, ce qui complète les mesures spécifiques.

Un tableau récapitule les incidences brutes, les mesures et les incidences résiduelles qui sont toutes faibles à très faibles. Le dossier conclut à l'absence de nécessité de compensation spécifique aux aménagements préalables DR0.

2.3.2. Milieu humain

2.3.2.1. Services écosystémiques

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de justifier les services retenus pour l'évaluation des services écologiques et de quantifier les surfaces des écosystèmes présents localement concernées par chacun de ces services.

La justification des services écosystémiques retenus est détaillée dans le mémoire en réponse qui fournit également une estimation des surfaces concernées. Le dossier n'a cependant pas à ce stade été complété sauf en ce qui concerne les incidences négligeables des premières opérations de caractérisation et de surveillance environnementale (phase DR0). Les services écosystémiques affectés avant mesure compensatoire sont listés.

L'Ae observe qu'il conviendra de prendre en compte l'impact de la compensation sur les services écosystémiques dans la mesure où elle induit une consommation d'espace significative et que les espaces consommés produisent probablement des services.

L'Ae recommande d'intégrer au dossier les éléments du mémoire en réponse de son avis précédent concernant les services écosystémiques et de prendre en compte en amont de leur mise en œuvre les pertes éventuelles de services du fait de la consommation d'espace des mesures compensatoires.

2.3.2.2. Évaluation des risques pour la santé

Le dossier a été notablement complété en termes d'évaluation des risques sanitaires tant pour ce qui concerne les nuisances physiques que celles liées aux substances chimiques ou à la radioactivité. Deux volets sur les risques accidentels et sur les risques après fermeture ont été ajoutés. Un recensement complet des habitations, lieux de travail et établissements sensibles au voisinage du site et des infrastructures de transport a été réalisé afin d'évaluer avec précision les expositions aux nuisances physiques, chimiques et radioactives. La figure 9 illustre une des représentations cartographiques de ce voisinage.

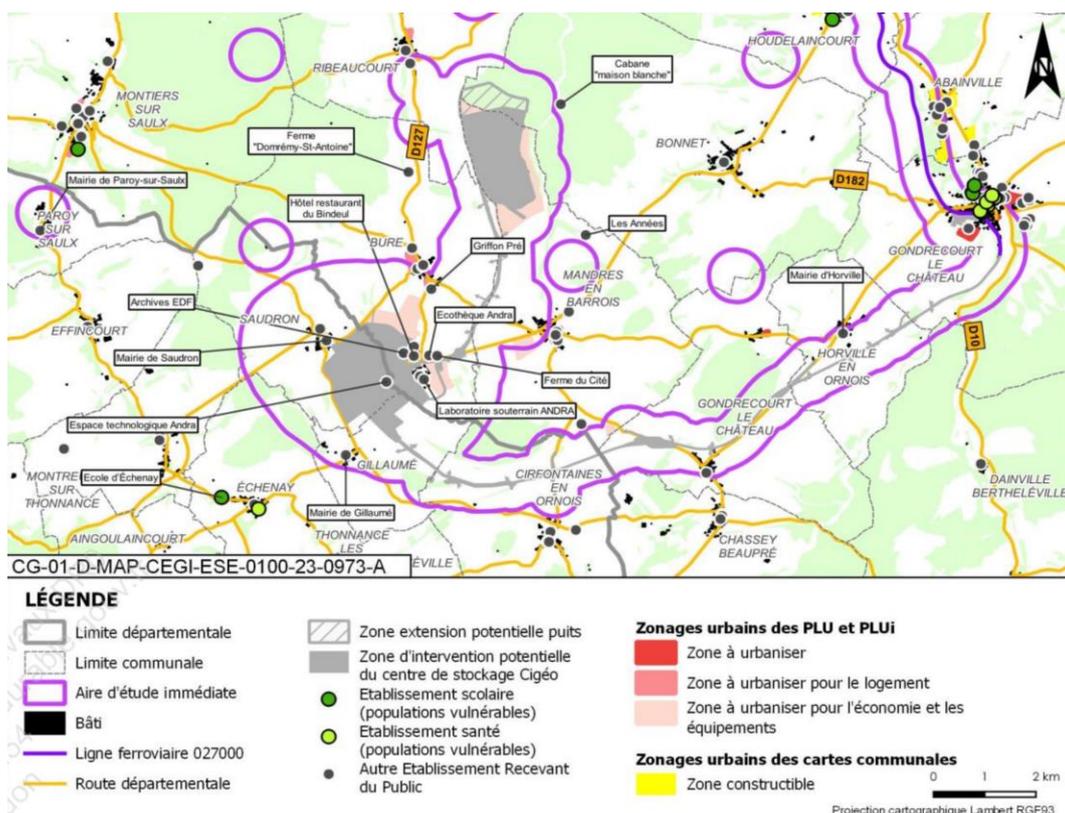


Figure 9 : carte des implantations humaines dans l'aire d'étude immédiate à proximité des installations projetées et de la partie de la ligne ferroviaire la plus proche. Source : dossier.

2.3.2.2.1. Effets du bruit

De façon générale l'approche est réglementaire, c'est à dire que les niveaux de bruit et les émergences sonores modélisées dans l'environnement sont comparés aux niveaux maximum autorisés

par la réglementation française. Le dossier mentionne les lignes directrices de l'OMS³⁶ sur le bruit, qui concernent essentiellement les bruits des transports, des éoliennes et des loisirs. Il souligne le fait que « *Les seuils fixés par la réglementation applicable en France sont supérieurs à ces recommandations.* » mais ne tient compte que des seules valeurs réglementaires pour l'évaluation des incidences et les mesures ERC.

L'Ae rappelle que les lignes directrices de l'OMS sont fondées sur des analyses des connaissances actuelles sur les effets sanitaires du bruit et constituent donc des niveaux au-delà desquels des effets sanitaires sont documentés. La réalisation d'études d'impact impose, au-delà du respect des valeurs réglementaires, l'évaluation de ces incidences et la mise en œuvre de mesures pour de rendre les incidences résiduelles négligeables. Il convient donc, comme pour les risques chimiques, de s'appuyer sur les valeurs de l'OMS, ou de toute autre relation dose réponse adaptée, pour évaluer les incidences.

La contribution de l'ARS reçue par l'Ae souligne les lacunes du dossier en matière de caractérisation et de modélisation des bruits résiduels des forages. Elle demande également que « *l'absence de caractérisation préalable de l'impact sonore des opérations DRO autour de la ligne ferroviaire 027000 [soit] justifiée* », ainsi que celle des vibrations.

L'Ae recommande de reprendre l'analyse des incidences sanitaires du projet en comparant les bruits modélisés avec les niveaux de référence pour le bruit des lignes directrices de l'OMS.

2.3.2.2.2. Risques chimiques

Exposition dans l'atmosphère

L'évaluation des risques liés aux substances chimiques s'appuie sur le référentiel de l'Ineris mis à jour en 2021. L'analyse des dangers a intégré, pour les PM_{2,5}, la valeur toxicologique de référence (VTR) (ERU₃₇=0,0128 (µg/m³)⁻¹ pour la mortalité vie entière³⁸ proposée par l'Anses³⁹ en 2023. Pour les polluants sans VTR les valeurs guides de l'OMS de 2021 sont retenues comme seuils de toxicité chronique. On notera toutefois que la valeur de 25 µg/m³ qui correspond à un seuil d'exposition de deux à trois jours, a été retenue pour le dioxyde d'azote au lieu de la valeur de 10 µg/m³ qui est le seuil annuel, ce qui reste à justifier, la concentration d'exposition étant une valeur moyenne annuelle. Néanmoins, au vu des résultats, cette question n'est pas critique.

Les sources d'émissions atmosphériques sont évaluées par recensement des quantités émises à l'atmosphère de particules, d'oxydes d'azote et de soufre, de monoxyde de carbone, de benzène,

³⁶ Organisation mondiale de la Santé, 2018. [Lignes directrices relatives au bruit dans l'environnement dans la région européenne. Résumé d'orientation](#)

³⁷ ERU : excès de risque unitaire désigne le coefficient de proportionnalité entre le risque de cancer et la concentration en µg/m³ de la substance d'exposition

³⁸ L'excès de risque vie entière représente la probabilité cumulée sur la vie entière d'occurrence d'un évènement sanitaire due à une exposition d'intérêt, qui vient s'ajouter à la probabilité d'occurrence de cet évènement sanitaire dans une population non exposée, appelé par la suite « risque de fond ». Source Anses cf note

³⁹ [Anses 2023. Valeurs toxicologiques de référence. Les particules de l'air ambiant extérieur.](#)

de composés organiques volatils (COV), de dioxines et de furanes. Des majorants ont été systématiquement utilisés, par exemple l'ensemble des hydrocarbures et COV a été assimilé au benzène pour les sources dont la composition détaillée n'est pas disponible. Le dossier justifie l'absence de risque lié aux autres types de polluants, notamment les métaux lourds.

Le transport des polluants dans l'air est évalué comme indiqué précédemment à l'aide du logiciel Impact. Classiquement l'exposition aux substances à seuil, ou aux substances sans seuil pour lesquelles la valeur guide de l'OMS a été prise en compte en l'absence de VTR, est comparée à la valeur seuil. En fonction de cette référence aucune exposition préoccupante n'est relevée. Pour ce qui concerne les substances cancérigènes sans effet de seuil l'Ae se félicite que l'Andra ait utilisé une exposition sur la vie entière, soit 70 ans, au lieu de la période de 30 ans⁴⁰ classiquement utilisée et réfutée par l'Ae dans plusieurs avis.

Les résultats montrent un excès de risque individuel élevé pour les PM_{2,5} puisqu'il est supérieur à 1/1000 pour tous les habitants. Dans la mesure où ce risque est néanmoins inférieur au niveau de risque d'une exposition au niveau de la valeur de référence de l'OMS la conclusion du dossier est que ce risque n'est pas préoccupant. Cet argument s'appuie sur le rapport de l'Anses qui explicite qu'il n'y a pas pour les PM_{2,5} de consensus sur la valeur de risque acceptable. Il est également observé que l'excès de risque individuel pour une exposition au niveau de la valeur de référence de l'OMS de 5 µg/m³ est de 0,057, soit 57/1000. À titre de comparaison, la valeur moyenne de la teneur en PM_{2,5} du territoire est de 10 µg/m³ du fait des émissions de l'habitat et de l'agriculture. Les concentrations ajoutées sont inférieures à 10 % de cette moyenne en phase de fonctionnement mais sont de 63 % au niveau de l'hôtel du Bindeuil pendant la phase de construction. L'accroissement du risque n'est donc pas négligeable comparé au risque initial.

Les mesures d'évitement et de réduction sont des mesures habituelles pour les chantiers comprenant l'entretien des véhicules, des limitations de vitesse, des dispositifs de prévention des émissions de poussières, de l'arrosage des terres excavées... Ces mesures sont présentées en détail dans un cahier séparé mais leurs effets sur les incidences brutes ne sont pas évalués de façon quantitative.

Pour l'Ae ces résultats invalident la conclusion proposée par le maître d'ouvrage en vertu de laquelle les incidences sur la santé seraient très faibles. Ils justifieraient la mise en œuvre de mesures de réduction et de suivi quantifiées. En l'absence de valeur consensuelle au niveau national, le niveau de risque acceptable pour les PM_{2,5} doit être mis en débat avec les habitants concernés. Ces derniers restent les seuls capables d'explicitier quel taux de mortalité supplémentaire ils acceptent au regard des bénéfices de la construction de Cigéo et au regard de leurs propres efforts en matière de limitation d'émissions domestiques⁴¹. À cet égard il convient de réaliser une présentation didactique

⁴⁰ L'argument étant qu'il s'agit de la durée médiane d'habitation dans un logement, selon les statistiques des abonnements électriques. L'Ae considère que cela ne représente en rien la durée de vie sur un territoire.

⁴¹ Le chauffage au bois reste en France la source prédominante d'émissions de PM_{2,5}. Source : [ministère de la transition écologique](#).

des enjeux et résultats, explicitant pour chaque commune le niveau de risque initial et les effets de diverses hypothèses en matière d'évitement et de réduction.

L'Ae recommande de revoir la conclusion sur le niveau de risque sanitaire et de présenter de façon didactique au public les niveaux élevés de risque sanitaire liés aux PM_{2,5} ainsi que les mesures complémentaires d'évitement et de réduction envisageables et de débattre du niveau de risque acceptable sur le territoire.

Exposition via les eaux

Les substances susceptibles de rejoindre les eaux sont liées aux différents chantiers de la phase d'aménagements préalables et à la période de fonctionnement du centre. Leurs eaux usées peuvent contenir des matières en suspension, des traces d'hydrocarbures et de carburants, de l'azote, du phosphore total, des métaux lourds (cuivre, plomb, zinc, cadmium), des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des sulfates. L'évaluation des risques pour la santé conclut que les incidences potentielles sont significatives mais ne fournit cependant pas de données quantitatives pour les substances rejoignant les milieux récepteurs. Les mesures d'évitement et de réduction mises en place aboutissent à ce qu'aucune eau non traitée ne puisse rejoindre l'environnement et que les eaux rejetées soient d'une qualité conforme au bon état chimique. Le dossier précise également qu'aucun prélèvement déclaré d'eau, ni baignade autorisée, ne se situe dans l'aire d'étude éloignée.

2.3.2.2.3. Risques radioactifs

Le dossier souligne que les opérations d'aménagements préalables ne mettent pas en œuvre de substances radioactives. Ce qui suit concerne donc l'ensemble du projet Cigéo.

L'évaluation des risques sanitaires procède d'une méthodologie similaire à celle employée pour les risques chimiques atmosphériques, en ajoutant à l'exposition par l'inhalation, le contact cutané et l'ingestion des substances entrant dans la chaîne alimentaire. L'ensemble de l'exposition est ramené à une dose efficace engagée mesurée en Sievert (Sv), unité qui pondère le rayonnement par son niveau d'absorption par la matière et son effet sur les différents organes cibles. Le dossier rappelle la limitation à 1 mSv de la dose totale reçue par les individus en application des articles L. 1333-2 et R. 1333-11 du code de l'environnement. L'Andra pose par précaution la limite de 0,25 mSv prévue par le guide de sûreté n°1 de l'ASN⁴² pour la dose liée aux activités nucléaires ce dont l'Ae se félicite. Elle souligne également la grande qualité didactique de cette partie du dossier.

Le dossier évalue la dose susceptible d'être reçue par des personnes situées à 2 m de tous les trains ; elle est estimée à quelques dizaines de microsievverts (µSv) par an. Sans remettre en cause ce calcul, l'Ae estime qu'une évaluation quantitative des doses reçues au domicile des riverains de la ligne ferroviaire serait utile.

⁴² [ASN 2008. Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde.](#)

Les rejets liquides dit non conventionnels (ayant pu contenir des radionucléides) sont entièrement collectés et transportés par camion-citerne jusqu'à un centre spécialisé à l'extérieur du site. L'évaluation en déduit que les risques sont extrêmement faibles, cependant le dossier n'explique pas où se trouve ce centre et quels sont les riverains du trajet effectué susceptibles d'être affectés par le transport de matières dangereuses.

La dispersion des rejets atmosphériques, estimés à partir de scénarios-enveloppe majorants, leur dépôt au sol et leur devenir dans la chaîne alimentaire sont calculés avec les logiciels Ceres et Impact comme indiqué précédemment. Le terme source-enveloppe des rejets canalisés de la zone puits étant cent fois supérieur à celui de la descenderie ce dernier a été négligé. Le dossier souligne que la dispersion est bonne et que des baisses significatives de concentrations sont attendues dès les premiers kilomètres. Deux cartes sont produites, l'une représente les concentrations de tritium dans l'air (figure 10), l'autre les retombées de ce radionucléide sur les sols.

Les cartes ne comportent pas de représentation graduée des concentrations, celles concernant le krypton 85 et le carbone 14 ne sont pas mises à disposition du public. De plus, compte tenu de la proximité des villages et de la descenderie, bien que les émissions soient significativement plus faibles, il importe de modéliser également le panache de la cheminée de la descenderie et de le superposer au panache de la cheminée de la zone des puits.

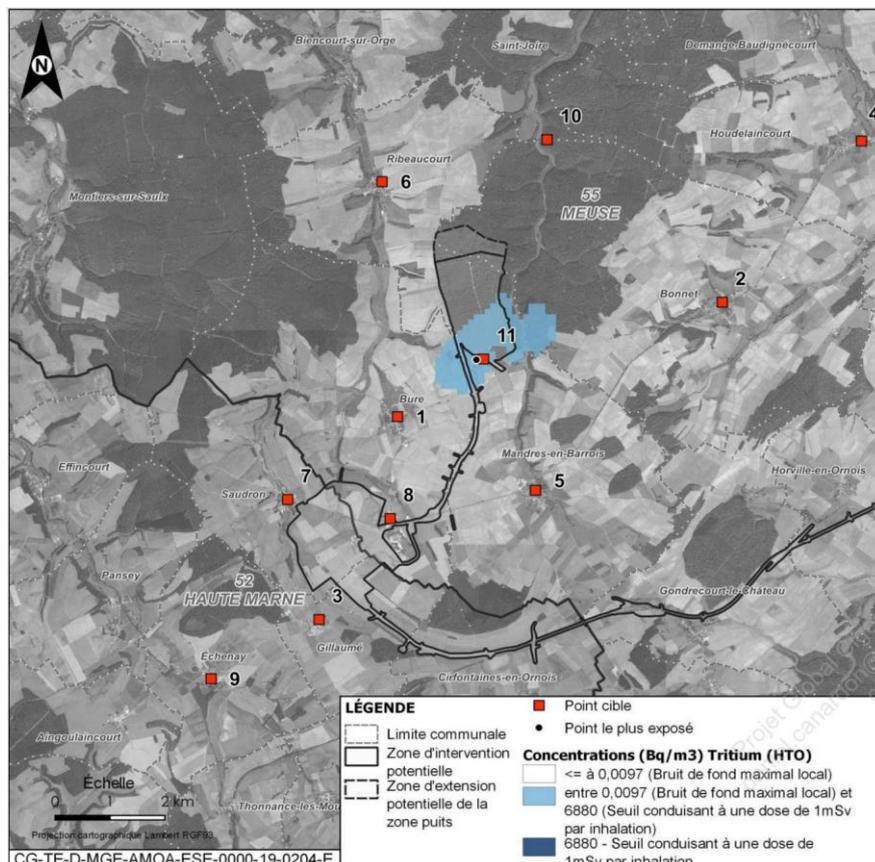


Figure 10 : carte de dispersion du tritium autour de la cheminée de la zone des puits. Source : dossier.

Le dossier souligne qu'il n'y a pas de retombées au sol du carbone 14 qui reste à l'état gazeux, cependant sa présence dans l'atmosphère conduit à une absorption par les plantes que le logiciel Ceres devrait théoriquement calculer à partir du rapport $^{12}\text{C}/^{14}\text{C}$, il importe également de cartographier la concentration de ^{14}C dans les plantes sur le territoire.

En terme de bilan, la dose annuelle reçue par les habitants les plus proches est de l'ordre du micro-sievert, ce qui est très faible par rapport à la dose maximale réglementaire et à la dose moyenne de radioactivité naturelle. Les remarques et recommandations de l'Ae tiennent donc plus à la transparence du processus d'évaluation qu'à une quelconque remise en cause des conclusions.

L'Ae recommande d'inclure les émissions de la descenderie dans la modélisation des panaches radioactifs, de cartographier, en illustrant une gamme de concentrations, les dispersions du tritium, du carbone 14 et du krypton 85 ainsi que la concentration du carbone 14 dans les plantes.

2.3.2.2.4. Risques après fermeture

Le dossier comporte un nouveau chapitre, dérivé du dossier de maîtrise des risques élaboré pour la demande de décret d'autorisation de création qui aborde cette question. Le concept est illustré par la figure 11. Il s'appuie sur plusieurs scénarios auxquels sont associées des évaluations de risque. Le recours à la recherche permet une amélioration permanente des scénarios et de reboucler sur les évaluations.

Le principe de la protection est fondé avant tout sur la sûreté passive liée à la très faible perméabilité et à l'épaisseur importante de la couche d'argilite. Ainsi les radionucléides ne seront entraînés par l'eau que très lentement pendant des millénaires. La dégradation à terme des enveloppes des colis et des enveloppes des alvéoles de stockage fait de la barrière géologique la protection ultime. Le dossier souligne l'absence de vulnérabilité aux activités humaines « banales » de cette barrière, c'est à dire le terrassement de chantier routier ou la construction de résidences. La faiblesse du risque de contact est essentiellement expliquée par le fait que le sous-sol reste considéré comme d'intérêt faible y compris pour d'éventuels projets géothermiques⁴³.

⁴³ La géothermie ne consiste pas seulement à rechercher de l'eau chaude dans le sous-sol mais également à utiliser l'inertie thermique des couches géologiques ou leur capacité de stockage de chaleur ou de froid.

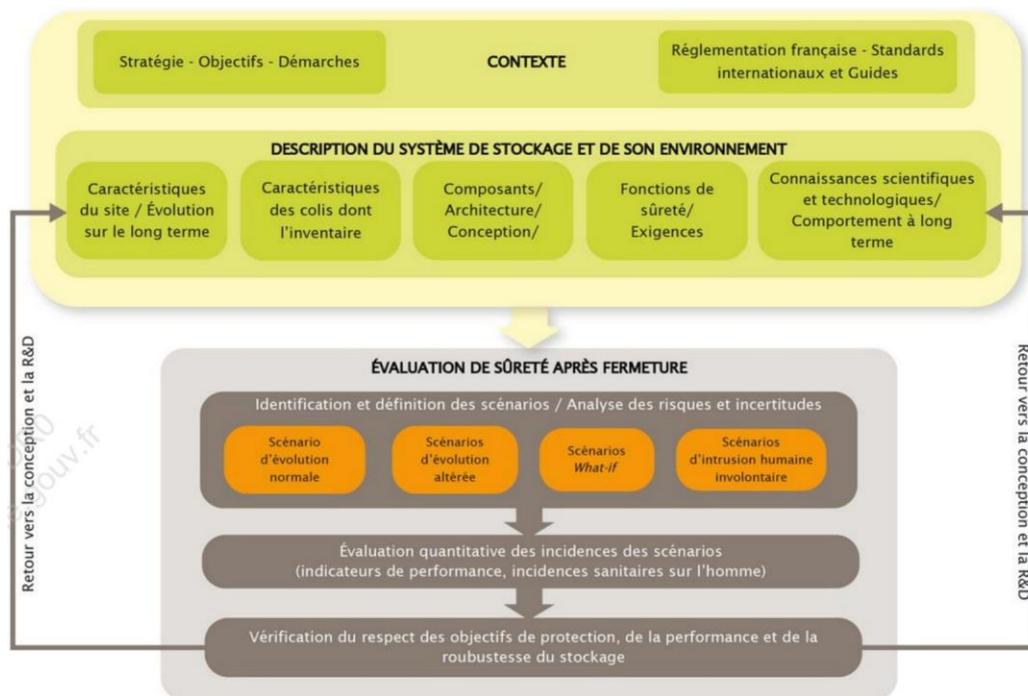


Figure 11 : représentation schématique de la démarche itérative d'évaluation de sûreté après fermeture. Source dossier.

Le scénario d'évolution normale s'appuie sur les résultats des expérimentations de l'Andra dans le laboratoire souterrain qui jouxte le projet Cigéo. Dans ce scénario, 20 % des radionucléides solubles dans l'eau et à vie longue : l'iode 129, le chlore 36 et le sélénium 79, parviennent aux confins de la couche callovo-oxfordienne au bout de 600 000 ans, l'exposition au bout d'un million d'années est de 1,5 μ Sv et les concentrations sont inférieures aux normes de qualité chimique de l'eau. Un scénario enveloppe prenant en compte les incertitudes résiduelles de connaissance sur les paramètres du stockage, y compris une forme chimique hexavalente du sélénium, plus mobile, aboutit à une durée de 100 à 200 000 ans et à une exposition radioactive non chiffrée mais jugée « *très inférieure à la valeur de référence du guide de sûreté n° 1 de l'ASN* » sauf pour un des exutoires où elle atteint cette valeur dans le scénario d'atmosphère chaude.

Les scénarios d'évolution altérée, jugés très peu probables, impliquent une fracturation des scellements des alvéoles et des puits ou un dysfonctionnement des conteneurs. Le scénario « What if » suppose que les scellements n'ont pas été réalisés conformément aux spécifications ou que la présence de discontinuités verticales n'a pas été détectée. Les scénarios d'intrusion involontaire sont récapitulés sur la figure 12. Ils envisagent plusieurs types de forages atteignant ou traversant les alvéoles de stockage de la couche callovo-oxfordienne.

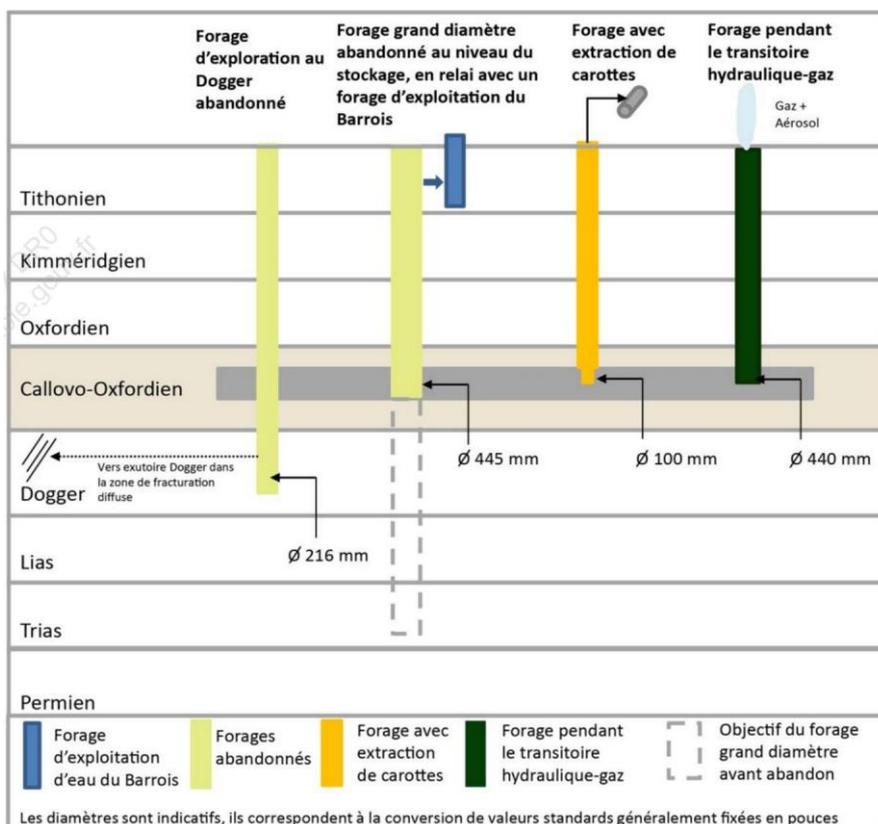


Figure 12 : scénarios d'intrusion non volontaire après fermeture. Le transitoire hydraulique gaz correspond à un dégagement d'hydrogène lors de la venue d'eau avec corrosion des métaux. Source dossier.

Les eaux susceptibles de se diffuser dans le sous-sol sont supposées entrer au contact avec les populations via quatre exutoires situés dans les couches avoisinantes. Le milieu lui-même est envisagé selon trois hypothèses climatiques : tempéré, subtropical humide et boréal. Selon le dossier dans tous ces scénarios : « les niveaux de dose maximale restent inférieurs aux niveaux susceptibles d'induire des effets déterministes et dans la plupart des cas inférieurs à la valeur de référence retenue pour le [scénario d'évolution normale] (0,25 mSv/an) ». Le cas qualifié d'extrême, du scénario « What if » avec dysfonctionnement de tous les scellements conduit à une voie de transfert parallèle à la couche callovo-oxfordienne via les ouvrages pendant le transitoire hydraulique-gaz⁴⁴.

Le dossier ne fournit cependant aucune donnée quantitative des niveaux de doses résultant de tous ces scénarios, ni de ceux qui aboutissent à une exposition inférieure à la référence de (0,25 mSv/an) ni des quelques scénarios qui conduisent à un dépassement. De même, au-delà des termes « improbable » ou « très improbable », les probabilités d'occurrence des différents scénarios, modulés par les choix d'occupation du territoire possibles ne sont pas données.

⁴⁴ Écoulements diphasiques eau-gaz en milieu poreux. En l'espèce il s'agit de l'écoulement du mélange entre l'hydrogène produit au sein des alvéoles et de l'eau circulant dans les pores de la roche. Source IRSN

Les travaux du programme « *Mémoire pour les générations futures* » sont en cours⁴⁵. L'Andra envisage de s'appuyer sur ses résultats pour mettre au point des dispositifs de conservation de la mémoire du site afin d'informer les générations futures pour au moins 500 ans. Cette durée de 500 ans, estimée par l'ASN, n'est pas justifiée dans le dossier.

L'Ae recommande de fournir les résultats quantitatifs des risques évalués selon les différents scénarios d'évolution altérée et d'intrusion involontaire, d'explicitier leurs probabilités selon diverses hypothèses d'occupation du sol et de justifier la durée prévue du maintien de la mémoire de seulement 500 années.

2.3.2.2.5. Risques accidentels

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de compléter le dossier par une évaluation des incidences environnementales et sanitaires à court, moyen et long termes liées aux fonctionnements en mode dégradé ou à l'occurrence de situations accidentelles pendant la phase de fonctionnement du site et ultérieurement.

Ce nouveau chapitre est rédigé, comme le précédent, en cohérence avec le dossier de maîtrise des risques. Quatre scénarios accidentels sont envisagés et décrits de façon détaillée :

- chute d'un colis primaire à la suite de la défaillance d'un pont de manutention en situation de non fonctionnement du système de filtration ;
- incendie d'un chariot de transfert des colis dans le bâtiment nucléaire de surface avec défaillance du système d'extinction ;
- chute d'un emballage ouvert de transport MA-VL lors de son déchargement dans le bâtiment nucléaire de surface avec défaillance du matelas amortisseur (figure 13) ;
- inflammation d'un colis de déchets bitumés⁴⁶ dans un colis de stockage.

Les deux premiers scénarios aboutissent à des expositions maximales respectivement de 50 μ Sv et 1 μ Sv. Pour le troisième scénario, est estimée une exposition à un maximum de 8,2 mSv sur une période de 24 h, 2,3 mSv dans le village de Saudron, voir figure 3. Le dossier souligne que cette dose est inférieure à la valeur repère de 10 mSv. Le tableau explicitant les limites « acceptables » indique que cette dose se réfère à des situations accidentelles d'extension du dimensionnement, ce qui ne semble pas être le cas, ces situations impliquant des événements extérieurs comme de séismes. La dose « acceptable » sur 24 h pour des accidents de dimensionnement est de 1 mSv. Par ailleurs la durée de 24 h semble courte eu égard à la gravité de l'accident qui peut également avoir des conséquences pour le personnel, il convient d'explicitier comment l'Andra envisage l'arrêt des émissions dans un délai de 24 h.

⁴⁵ [Dossier de presse, Andra, juin 2021. La mémoire des sites de stockage de déchets radioactifs. Enjeux et actions.](#)

⁴⁶ Les fûts d'enrobé bitumineux (FEB) sont issus du traitement, dans les installations du CEA/Marcoule depuis 1966 et d'Orano/La Hague depuis 1989, de déchets liquides radioactifs par ajouts de sels de coprécipitation puis bitumage des boues obtenues. Source IRSN.

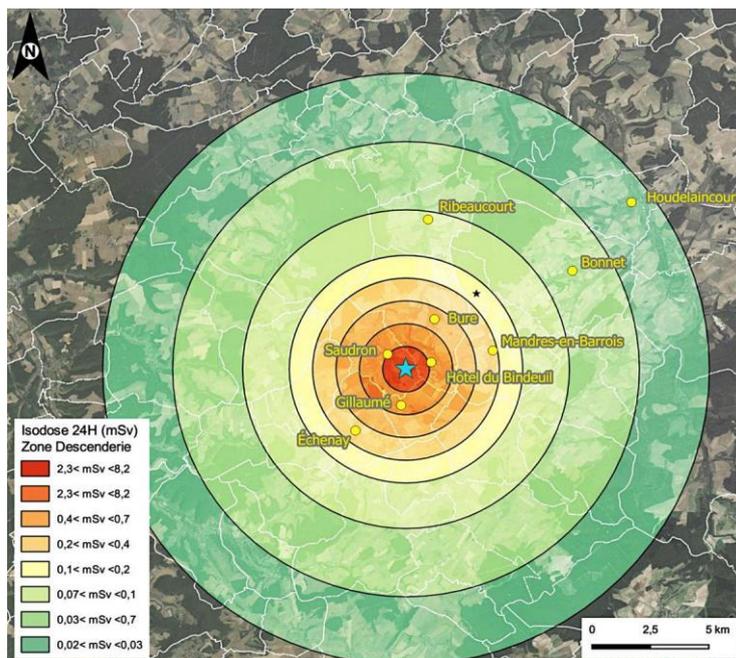


Figure 13 : doses maximales reçues en 24h en fonction de la distance à la descenderie pour le scénario de chute d'un emballage ouvert. Source dossier.

L'Ae recommande d'expliciter le choix d'une dose maximale de 10 mSv pendant 24h comme référence pour une situation accidentelle sans cause externe.

Le scénario d'incendie d'un colis bitumé induit des doses maximales à 24h inférieures à 1 mSv. Le dossier ne justifie pas non plus le fait que les émissions ne soient pas prises en compte après 24h.

L'Ae recommande de justifier la durée de 24h prise en considération pour les scénarios accidentels graves.

Le risque lié au transport des colis est abordé succinctement. La seule information quantifiée est que ceux-ci résistent à une chute d'une hauteur de 9 m. Les dispositions prises par les pouvoirs de police pour gérer une éventuelle crise sont présentées. L'Ae considère qu'une évaluation de risque quantitative est nécessaire et doit concerner tout le linéaire d'acheminement des colis sur le site.

L'Ae recommande de réaliser une évaluation quantitative des risques liés au transport des colis radioactifs depuis les sites d'entreposage jusqu'au centre de stockage.

2.3.2.3. Incidences sur l'usage des sols

Le dossier comporte des précisions sur les effets sur les sols de la phase d'aménagements préalables, de la construction initiale et du fonctionnement. La surface totale de l'emprise des installations s'élève à 783 ha, dont 296 ha pour la descenderie et 258 ha pour la zone puits ; l'emprise sur des espaces déjà artificialisés est de 69 ha, le tableau 2 récapitule les détails par type de sol. Le dossier indique que 587 ha sont artificialisés, dont 158 ha imperméabilisés et conclut à la nécessité de compenser cette artificialisation.

Installation	Agricole	Milieux naturels	Artificiels	Total
Zone descendière (dont INB)	275,6 (102,4)	4,5 (0,9)	15,7(4,6)	296
Zone puits (dont INB)	2,0 (0,0)	251,2 (95,6)	4,2 (1,7)	258
Installation terminale embranchée	66,8	34,1	20,0	121
Liaison intersites	43,3	1,0	2,0	46
Autres opérations	27	8	27	61
Total	415	302*	69	783*
Surface conservée	65	106+24,5**		195,5
Artificialisation résiduelle	350	169,5	69	587*

Tableau 2 : surfaces artificialisées par le projet en hectares, (* nombre repris du dossier le calcul diffère de 2 ha ; ** compensation de l'artificialisation des milieux ouverts par consommation de terres agricoles). D'après dossier.

2.3.2.4. Impact sur les terres agricoles

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de justifier l'absence de recherche de surfaces agricoles de substitution permettant d'éviter l'intensification et d'évaluer les incidences environnementales des projets de compensation agricole financés par le fonds de compensation, notamment pour ce qui concerne l'usage éventuel de fertilisants ou de pesticides ou d'intensification de l'exploitation, et de proposer des mesures d'évitement, de réduction ou de compensation des impacts éventuels.

Le dossier évalue le besoin de compensation agricole à partir de la perte de valeur ajoutée économique liée à l'artificialisation des surfaces agricoles entre 370 193 € et 439 485 € selon la surface affectée, la valeur maximale de l'artificialisation étant de 415 ha (cf. tableau 2). La compensation par mise en culture de terres ne peut avoir lieu du fait de l'indisponibilité de ces terres dans les deux départements concernés. Un fonds de compensation de 4 394 850 € a été consigné par l'Andra auprès de la banque des territoires afin de développer des projets pendant une durée de dix ans. Les projets financés par ce fonds seront « *des projets novateurs sans effets négatifs notables sur l'environnement* ». Cette conditionnalité sera vérifiée par un comité de pilotage formé « *des représentants de la profession agricole, d'organismes consulaires, d'organismes économiques, des services de l'État, de collectivités, d'associations du territoire et de l'Andra* ». L'Ae observe que le comité de pilotage comporte en grande partie des acteurs porteurs d'intérêts agricoles et remarque l'absence de pluralité des avis, les scientifiques spécialistes des incidences environnementales de l'agriculture, par exemple, n'étant pas envisagés. La certification de l'absence d'effets négatifs notables sur l'environnement et la santé humaine devra, selon l'Ae, être apportée par une évaluation rigoureuse sous le contrôle de tels spécialistes.

L'Ae recommande de mettre en place un comité scientifique chargé de certifier l'absence d'effets négatifs notables sur l'environnement et la santé humaine des projets financés au titre de la compensation agricole.

2.3.2.5. Incidences sylvicoles

L'article L. 341-6 du code forestier impose un taux de compensation⁴⁷ surfacique de un à cinq. Dans la Meuse, ce taux est fixé à deux hectares pour un pour les défrichements forestiers. Le dossier précise que les peuplements affectés par la zone puits n'ont pas de valeur marchande. Le dossier indique que ce taux est affecté à la première phase du projet ce qui aboutit à une surface de compensation de 275 ha. La compensation des défrichements ultérieurs sera évaluée le moment venu. Le dossier a été complété et actualisé sans que ses conclusions soient sensiblement modifiées. Il est précisé que : « l'Andra souhaite éviter d'entreprendre cette compensation sur des terres agricoles ou des surfaces considérées comme de premier boisement ou à enjeux écologiques forts ». L'Ae confirme l'importance de ne pas choisir des espaces de compensation avec des habitats semi-naturels d'intérêt patrimonial et de proscrire les plantations unispécifiques ou d'espèces exotiques.

Le préfet de la Meuse, dans sa contribution au présent avis, a informé l'Ae du fait que le département de la Meuse faisait partie des territoires où le risque d'incendie de forêt, jusqu'ici faible, était en accroissement. Le préfet insiste sur la nécessité d'anticiper ce risque qui sera pris en compte dans le dossier départemental des risques majeurs de la Meuse, en cours d'élaboration.

L'Ae recommande de veiller à des compensations forestières plurispécifiques, d'essences locales, en dehors des habitats semi-naturels d'intérêt patrimonial comme des pelouses calcicoles, prairies humides, marais, etc.

2.4. **Évaluation des incidences Natura 2000**

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de préciser la nature des travaux qui seront réalisés sur la ligne électrique à 400 kV au droit des zones de protection spéciale du réseau Natura 2000 et de mettre en place le cas échéant des mesures d'évitement et de réduction supplémentaires afin de garantir l'absence d'incidences sur les oiseaux ayant permis la désignation de ces sites.

Une précision sur les travaux est apportée au dossier : « *aucun nouveau pylône n'est construit pour l'opération d'alimentation électrique, ainsi aucun effet d'emprise supplémentaire, ni d'augmentation du risque de collision n'est engendré. Après mise en œuvre des mesures lors de la phase travaux, les incidences en exploitation seront essentiellement liées aux opérations de maintenance. Ainsi, aucune destruction d'habitat ou effet d'emprise n'est attendu en phase de fonctionnement* » L'Ae signale les préconisations formulées par RTE et la ligue de protection des oiseaux sur ce thème⁴⁸.

En ce qui concerne spécifiquement les opérations d'aménagement préalable DR0 le dossier souligne qu'elles sont ponctuelles et concernent les sites Natura 2000 suivants : ZSC Bois de Demange, Saint-Joire, Carrières du Perthois : gîtes à chauves-souris et ZSC Forêts de Gondrecourt-le-Château. Il

⁴⁷ L'Ae souligne qu'il ne s'agit pas de compensation environnementale mais vis-à-vis des propriétaires forestiers.

⁴⁸ <https://milan-royal.lpo.fr/sites/default/files/cna-oiseaux-et-lignes-lectriques/2222/pr-sentation-colloque-cna-rte-ouest-lpo-ns-ng-25112022.pdf>

s'agira essentiellement de réaliser des plateformes temporaires de faible surface et des bases vie plus pérennes.

Des mesures d'évitement et de réduction sont prévues. Le dossier conclut à l'absence d'incidence notable. Le préfet de la Meuse a cependant souligné le fait que des forages sont situés sur l'ensemble interconnecté formé par le site Natura 2000 Carrières du Perthois mentionné ci-dessus et la Znieff Gîtes à chiroptères des carrières du Perthois et qu'il convient de considérer les effets cumulés de tous les forages sur ces sites.

L'Ae recommande de compléter l'évaluation des incidences Natura 2000 par l'analyse des incidences cumulées sur les sites des carrières du Perthois.

2.5. Évaluation économique et sociale des infrastructures de transport

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de corriger l'évaluation socio-économique en considérant comme référence que le projet Cigéo ne se fait pas.

Le mémoire en réponse justifie le choix du maître d'ouvrage de prendre comme scénario de référence la construction de Cigéo sans infrastructure spécifique, c'est à dire sans infrastructure ferroviaire, en utilisant des transports routiers existants. Cette option correspond à la réglementation concernant les études socio-économiques. Le dossier souligne que le rapport du Secrétariat général pour les investissements après contre-expertise indépendante de l'évaluation socio-économique des infrastructures de transport est favorable. Il est cependant inadapté selon l'Ae de ne pas considérer comme scénario de référence le scénario sans projet comme c'est la règle pour les études environnementales.

2.6. Suivi du projet, de ses incidences, des mesures et de leurs effets

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de fournir un récapitulatif de l'ensemble des mesures de suivi du projet.

Un plan de surveillance des différents compartiments de l'environnement, sous forme de tableau, a été joint au dossier. Il récapitule, pour chaque type de nuisance les lieux de mesure, les paramètres suivis et la fréquence d'analyse pour la phase de construction initiale et pour la phase de fonctionnement. Les mesures de suivi des aménagements de la phase d'aménagements préalables DR0 sont identifiées.

Le tableau évoqué précédemment est complété par un autre tableau présentant le dispositif de suivi des mesures de la séquence ERC du projet global Cigéo. Ce tableau identifie les facteurs environnementaux qui sont suivis pour chacune des mesures ERC.

Un tableau spécifique aux mesures d'évitement et de réduction des opérations d'aménagement préalables DR0 est figuré également dans le dossier, sa structure est commune avec son homologue présenté ci-dessus concernant le projet d'ensemble en ajoutant les maîtres d'ouvrages concernés.

Concernant les risques sanitaires un « *Observatoire de la santé des riverains autour du centre de stockage Cigéo* » a été mis en place le 30 septembre 2022 sous la forme d'une convention cadre avec Santé publique France, l'ARS Grand Est, le Comité local d'information et de suivi du Laboratoire souterrain de Bure et la Préfecture de la Meuse.

2.7. Résumé non technique

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de prendre en compte dans le résumé non technique les conséquences des recommandations du présent avis et d'inclure des éléments sur le choix opéré parmi les diverses options.

Le résumé non technique est construit comme l'ensemble de l'étude d'impact, il est donc mis à jour pour tenir compte des évolutions du dossier, y compris celles qui sont réalisées par le maître d'ouvrage en réponse aux recommandations de l'Ae. Il permet également de tracer l'ensemble des modifications de l'étude d'impact, dont celles qui ont trait à l'opération d'aménagements préalables DR0.

Le résumé non technique comporte 554 pages en format A3 paysage, il est donc particulièrement complet, à l'image du dossier qui représente plus de 12 000 pages. Une telle quantité d'information est difficile à appréhender pour le public. Néanmoins, la qualité du document et le niveau de détail du sommaire permettent de trouver rapidement les sujets d'intérêt particulier.



Figure 14 : exemple d'aménagement didactique montrant la future voie de chemin de fer avec à droite un panneau explicatif. Source rapporteurs. Photo des rapporteurs.

En outre l'Andra, organise de nombreuses présentations didactiques du projet, a mis en place une halle pédagogique très intéressante et a placé des panneaux explicatifs sur les sites d'intérêt de l'emprise du projet. Ces éléments ne sauraient être considérés comme participant de l'étude d'impact mais ils fournissent une image du dossier qui facilite son appropriation.

3. Maîtrise des risques majeurs

3.1. Traitement de l'évaluation et de la maîtrise des risques dans le dossier

Recommandation 2021 : L'Ae recommande de produire, dès cette première version de l'étude d'impact, une première analyse des risques accidentels liés au projet, en particulier des éléments structurants et déterminants du rapport préliminaire de sûreté et d'une description des incidences négatives notables du projet à court, moyen et long termes, qui résultent de la vulnérabilité du projet à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs. Une évaluation des impacts directs ou indirects de tels accidents et le cas échéant, leur cartographie pour différents scénarios devraient être présentées dans le dossier de DUP.

Le dossier a été complété sur ce plan, le document de maîtrise des risques a été joint au dossier d'enquête publique. Ce document comporte un résumé non technique. L'Andra précise que le document de maîtrise des risques est fourni « *pour information* ». Pour l'Ae ce document est partie intégrante de l'étude d'impact, les risques devant être estimés aussi dans le cadre de l'étude d'impact et l'analyse devant être cohérente avec les scénarios incidentels et accidentels.

3.2. Maîtrise du risque sur le projet Cigéo

Recommandation 2021 : De façon consolidée pour ce qui concerne la méthode d'analyse des risques, l'Ae recommande :

- de croiser des compétences et des expertises de natures et d'origines variées ;
- de construire la démarche de maîtrise des risques en partant de la sécurité du projet dans sa finalité, à savoir le stockage après fermeture, en incluant plusieurs scénarios plausibles et contrastés de définition du gisement de déchets devant être stockés, d'en analyser les avantages et inconvénients en termes de durée de vie, d'environnement et de sécurité et de justifier le parti retenu ;
- de se baser sur une double approche déterministe et probabiliste, à mettre en perspective de la durée de vie des installations, et d'en tirer les conclusions quant à la classification des situations de fonctionnement de faibles probabilités ;
- d'approfondir l'analyse du risque de ne pas pouvoir récupérer des colis.

Le mémoire en réponse liste les compétences internes et externes sur lesquelles s'appuie l'Andra, souligne son rôle de mise en cohérence des diverses compétences pour fournir un dossier cohérent.

Le dossier comporte un chapitre listant les compétences de l'Andra⁴⁹ et la liste des sous-traitants ainsi que des volets de l'étude d'impact qu'ils ont eu à prendre en charge.

En ce qui concerne la démarche de maîtrise des risques, les hypothèses utilisées concernent la prolongation du parc, la relance de la production nucléaire et son abandon, ces points ont été abordés au 2.2.1 page 21 du présent avis.

L'Andra s'appuie sur la méthode déterministe qui est internationalement reconnue et conforme au guide de sûreté de l'ASN. Cette analyse est fondée sur la connaissance du comportement à long terme des composants du stockage, l'analyse quantitative des risques et incertitudes et la quantification de scénarios identifiés. L'Ae a rappelé à plusieurs reprises dans le présent avis le besoin de disposer d'une analyse probabiliste des risques d'intrusion dans le stockage à long terme après fermeture.

La récupération des colis est présentée par l'Andra comme une obligation réglementaire pour au moins un siècle. L'Andra rappelle que la phase Phipil a pour objectif de s'assurer de la récupérabilité des colis (cf. page 19). Le dossier de maîtrise des risques comporte un chapitre : « *Les dispositions prévues pour assurer le caractère réversible du stockage* » qui met en exergue et explicite les notions de progressivité, de flexibilité, d'adaptabilité et de récupérabilité.

Cette phase pilote comporte cependant, d'après l'IRSN, deux sources d'incertitude : les flexures⁵⁰ éventuelles de la roche hôte à l'emplacement du dépôt des colis HA et la méthode de creusement qui doit préserver l'intégrité de la roche à l'aplomb des zones de scellement. Les flexures affectant le couche callovo-oxfordienne pourraient être le signe d'une déformation des couches géologiques qui nécessiterait une adaptation de l'architecture de l'installation de stockage souterraine⁵¹.

L'ASN a transmis à l'Ae une contribution fondée sur les travaux du groupe permanent d'experts sur les déchets dont elle assure le secrétariat. Ce groupe, à l'instar de l'IRSN, recommande d'approfondir la reconnaissance des structures observées sismiquement à l'aplomb du quartier de stockage et d'évaluer leur impact sur les galeries souterraines. Il recommande également de présenter la méthode de creusement qui doit minimiser l'endommagement des zones de scellement. Enfin, il demande la transmission du programme d'évaluation de la corrosion des chemisages en acier des alvéoles.

Recommandation 2021 : L'Ae recommande :

- **d'approfondir l'analyse des accidents pertinents pour les travaux et stockages souterrains de Cigéo, et en particulier analyser tous les incidents et accidents survenus au sein du laboratoire souterrain ;**

⁴⁹ Les données ne sont pas nominatives, l'Andra ayant été l'objet de nombreux actes de malveillance a souhaité protéger ainsi ses salariés.

⁵⁰ Pli de très faible courbure dû à une pression perpendiculaire au marqueur de la déformation. [Source Wikipédia.](#)

⁵¹ [Rapport IRSN 2024-00212](#). Demande d'autorisation de création du projet Cigéo : « GPI » – évaluation des données de base retenues pour l'évaluation de sûreté.

- de produire une tierce expertise de la modélisation de la dissipation du flux thermique issu des alvéoles HA, à l'échelle des alvéoles et de son environnement direct et de la couche dans son ensemble ;
- de reprendre les études du potentiel géothermique du sous-sol et d'organiser leur pilotage par un groupe de géologues indépendants ;
- d'inventorier les activités pouvant présenter des risques d'atteintes aux travaux et au stockage souterrain, dont celles de Cigéo, et si besoin, de définir des périmètres de protection autour de Cigéo où ces activités devront être réglementées ou interdites.

Le mémoire en réponse comporte une analyse détaillée des accidents s'étant produits depuis la création du laboratoire souterrain. Les causes de ces accidents ont été analysées tant sur le plan technique qu'organisationnel. Les mesures de prévention de futurs accidents sont décrites. Le dossier de maîtrise des risques présente ce retour d'expérience et y ajoute l'analyse des accidents intervenus sur les stockages étrangers, le centre Stocamine, l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi et d'autres installations similaires.

L'accidentologie gagnerait à s'élargir à la large expérience du domaine minier international, malheureusement très riche en accidents de natures diverses et sur des contextes géologiques variés.

L'Ae recommande de ne pas limiter les travaux sur l'accidentologie aux seuls stockages souterrains et au laboratoire souterrain de l'Andra mais de les élargir à l'accidentologie minière internationale.

L'Andra liste une série de groupes et programmes de recherche en partenariat avec des organismes de recherche publique français (CNRS, IRSN) et étrangers ayant permis d'ouvrir les investigations sur les caractéristiques thermiques de la roche. Des tierces expertises ont également été réalisées à la demande de parties prenantes. Ces travaux ont permis de valider le choix du transfert de chaleur par conduction autour des alvéoles qui est, d'après le dossier, retenu par l'ensemble des scientifiques travaillant sur ce sujet à l'échelle internationale. Le dimensionnement est conçu pour limiter la température à 100°C, les alvéoles étant séparées de 100 m afin d'éviter les interactions thermiques. Le dossier souligne que tous les résultats scientifiques sont publiés et disponibles en ligne sur le site de l'Andra. L'ASN a souligné, à l'occasion de l'analyse du dossier d'options de sûreté que l'Andra avait acquis des connaissances détaillées du site et des phénomènes en jeu.

L'Ae considère que la maîtrise des phénomènes thermiques dans le stockage est fondamentale pour la sûreté du site. Pour la bonne information du public, la démonstration de cette maîtrise devra être apportée par le dossier.

L'Andra a réalisé une étude du potentiel géothermique du sous-sol et une tierce expertise de cette étude. La conclusion est que les ressources géothermiques ne sont pas exceptionnelles et ne présentent pas d'intérêt particulier par rapport au reste du bassin parisien. Cette analyse est partagée par l'IRSN. L'Ae souligne que la recherche de chaleur, ou de froid, dans le sous-sol pour des besoins énergétiques, notamment l'installation de pompes à chaleur géothermiques, ne nécessite pas la présence de ressources exceptionnelles. Le fait que d'autres ressources plus intéressantes soient

présentes dans le bassin parisien renforce par ailleurs l'intérêt de prendre toutes les mesures pour dissuader l'implantation humaine à l'endroit du site de stockage. Ces questions sont abordées au 2.2 du présent avis.

4. Annexe : tableau comparatif des options de stockage des déchets radioactifs

	Stockage géologique Création du projet de centre de stockage Cigéo	Transmutation Création d'un parc de réacteurs et de ses installations supports	Forages très profonds Création de forages sur les centres nucléaires existants	Entreposage de longue durée Création d'un entreposage centralisé enterré
Capacité à prendre en charge tous les déchets HA de l'inventaire actuel	stocke tous les déchets HA de l'inventaire actuel	transmute uniquement certains radionucléides/ne supprime pas tous les radionucléides à vie longue/n'est pas envisageable pour les déchets HA de l'inventaire actuel	stocke tous les déchets HA de l'inventaire actuel	prend en charge tous les déchets tous les déchets HA de l'inventaire actuel de façon temporaire
Capacité à prendre en charge tous les déchets MA-VL de l'inventaire actuel	stocke tous les déchets MA-VL de l'inventaire actuel	ne transmute pas les déchets MA-VL ; nécessite de créer un centre de stockage géologique pour les déchets MA-VL de l'inventaire actuel.	stocke les colis de déchets MA-VL peu volumineux ; nécessite de créer un centre de stockage géologique pour les déchets MA-VL volumineux de l'inventaire actuel.	prend en charge tous les déchets tous les déchets MA-VL de l'inventaire actuel de façon temporaire
Commentaire de l'Ae			Le reconditionnement des déchets MA-VL serait une solution à envisager	
Production de déchets radioactifs pendant leur propre fonctionnement et démantèlement	produit très peu de nouveaux déchets radioactifs	produit des quantités importantes de nouveaux déchets (nouveaux combustibles irradiés, déchets HA et MA-VL...)	produit très peu de nouveaux déchets radioactifs	produit très peu de nouveaux déchets radioactifs
Nécessité d'une filière suivante de gestion de déchets HA et MA-VL	ne nécessite pas de filière suivante de gestion des déchets	nécessite une filière suivante de gestion des déchets HA et MA-VL produits par le nouveau parc de transmutation et ses installations supports	ne nécessite pas de filière suivante de gestion des déchets	ne peut pas gérer les déchets de façon durable ; nécessite une filière suivante de gestion des déchets HA et MA-VL de l'inventaire actuel à l'issue de l'entreposage.
Faisabilité technique par notre génération	faisabilité technique acquise	faisabilité technique non acquise	faisabilité non acquise	faisabilité technique accessible ; faisabilité de la filière suivante non acquise.
Commentaire de l'Ae			La R&D pourrait explorer le forage profond comme filière suivant l'entreposage	
Nombre d'installations nucléaires nouvelles à créer	une seule installation nucléaire à créer : le centre de stockage géologique lui-même	nombre élevé d'installations nucléaires à créer pour la transmutation/pour la gestion des déchets non transmutés de l'inventaire actuel/pour la filière suivante de gestion des nouveaux déchets de transmutation	deux installations nucléaires de stockage en forages et une installation de stockage géologique à créer	une installation nucléaire d'entreposage centralisé et toutes les installations nucléaires de la filière suivante à créer (en nombre plus ou moins élevé en fonction de la filière - stockage géologique, transmutation, forages...)
Commentaire de l'Ae			Sauf reconditionnement des colis MA-VL	Utilisation de sites d'INB existantes
Progressivité de la construction, flexibilité et adaptabilité	développement progressif, flexible et adaptable du centre de stockage	développement progressif, flexible et adaptable des installations pour la transmutation (sous réserve de sa faisabilité technique)	développement progressif, flexible et adaptable des forages très profonds (sous réserve de sa faisabilité technique)	développement progressif, flexible et adaptable de l'entreposage centralisé
Commentaire de l'Ae	Sous réserve d'absence d'incident compromettant la réversibilité			

	Stockage géologique Création du projet de centre de stockage Cigéo	Transmutation Création d'un parc de réacteurs et de ses installations supports	Forages très profonds Création de forages sur les centres nucléaires existants	Entreposage de longue durée Création d'un entreposage centralisé enterré
Récupérabilité des colis	installation réversible, conçue pour que les colis puissent en être retirés pendant toute la durée de son fonctionnement	sans objet pour les réacteurs et pour les installations supports	retrait rapidement inévitable des colis stockés	installation conçue pour garder les colis de façon temporaire, les colis peuvent en être retirés pendant toute la durée de son fonctionnement
Commentaire de l'Ae				Classement à reconsidérer
Incidence environnementale brute de la construction	incidence brute forte (la mise en place des mesures ERC aboutit à une incidence non significative)	incidence brute très forte pour la construction du nouveau parc de réacteurs de transmutation, des installations supports et des installations de gestion des déchets non transmutés de l'inventaire actuel	induit une incidence brute modérée pour la construction des forages sur les sites nucléarisés et du stockage géologique des colis MA-VL volumineux de l'inventaire actuel	induit une incidence brute forte pour la construction de l'entreposage centralisé, comparable à celui du centre de stockage Cigéo
Incidence environnementale brute du fonctionnement et du démantèlement	incidence brute modérée pour le fonctionnement, le démantèlement et la fermeture du centre de stockage géologique	incidence brute forte pour le fonctionnement et le démantèlement du parc de réacteurs de transmutation et des installations supports ; incidence brute modérée pour le fonctionnement des installations de gestion des déchets non transmutés de l'inventaire actuel.	induit une incidence brute modérée pour le fonctionnement, le démantèlement et la fermeture des forages très profonds et du centre de stockage géologique des colis MA-VL volumineux de l'inventaire actuel	incidence brute modérée pendant le fonctionnement et pour le démantèlement de l'entreposage de longue durée
Incidence environnementale brute à long terme	incidence brute non significative à long terme	incidences brutes potentiellement fortes pour la construction, le fonctionnement et le démantèlement de la filière suivante	incidence brute non significative à long terme	incidences brutes potentiellement fortes pour la construction, le fonctionnement et le démantèlement de la filière suivante
Commentaire de l'Ae	Risque de contact avec les générations futures	Risque de contact avec les générations futures		Risque de contact avec les générations futures
Incidence sur les transports de colis de déchets radioactifs	transports des colis de déchets depuis leurs entreposages actuels vers le centre de stockage géologique	très nombreux transports entre les entreposages actuels, les futures usines de séparation, les nouveaux réacteurs de transmutation et les installations de la filière suivante	nombre réduit de transports sur la voie publique (si les forages profonds sont implantés sur les sites nucléaires d'entreposage des déchets HA)	transports des colis de déchets depuis leurs entreposages actuels vers l'entreposage centralisé transports des colis de déchets vers la filière suivante
Incidence sur la santé humaine et l'environnement en cas d'accident pendant le fonctionnement	incidence potentielle faible sur la santé et le territoire en cas d'accident	incidence potentielle forte sur la santé et le territoire en cas d'accident affectant un réacteur de transmutation	incidence potentielle faible sur la santé et le territoire en cas d'accident	incidence potentielle forte sur la santé et le territoire en cas d'accident
Risques à long terme	risque très faible sur la santé et le territoire en raison de la sûreté passive après fermeture	dépend de la mise en œuvre de la filière suivante/Risques importants en cas de non mise en œuvre de la filière suivante et de perte du contrôle institutionnel (non garanti au-delà de plusieurs siècles)	risque très faible sur la santé et le territoire en raison de la sûreté passive après fermeture	dépend de la mise en œuvre de la filière suivante/Risques importants en cas de non mise en œuvre de la filière suivante et de perte du contrôle institutionnel (non garanti au-delà de plusieurs siècles)
Commentaire de l'Ae	Les mesures ERC ne garantissent pas l'absence de contact futur	Risque de contact avec les générations futures		Risque de contact avec les générations futures

Code couleur :	Non significatif/très favorable	Modéré/favorable	Fort/défavorable	Très fort/très défavorable
----------------	---------------------------------	------------------	------------------	----------------------------

Tableau 3 : comparaison, d'après le dossier des différentes options de gestion des déchets. Le code couleur est celui du dossier, l'Ae a ajouté des lignes identifiées par un en-tête vert foncé où elle commente les propositions de l'étude d'impact et propose un classement alternatif.