



Catherine Veyer

Avril 2021

Considérations sur le stockage géologique des déchets nucléaires de haute activité – 2 – la solution à l'étude en France

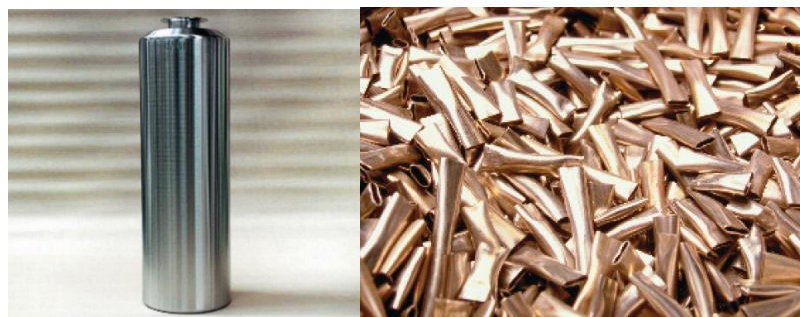
1. Introduction

Dans le précédent numéro des Plumes de l'ARA, nous avons introduit le contexte international et les considérations ayant conduit la grande majorité des pays qui possèdent un programme électronucléaire à choisir le stockage en formation géologique pour éliminer les déchets de haute activité. L'objectif dans chaque cas est d'isoler les déchets vis-à-vis de l'homme et de l'environnement sur une durée suffisante pour que le caractère dangereux de ces déchets retombe à des valeurs similaires à la radioactivité naturelle. Ce deuxième volet se consacre plus particulièrement à décrire le programme français, et les solutions technologiques retenues.

2. Les déchets concernés par le stockage géologique profond

En France, les déchets dits HA, avec une activité de plusieurs milliards de becquerels par gramme, correspondent principalement aux résidus hautement radioactifs séparés du combustible utilisé au cours des opérations de recyclage. Ils représentent seulement 0,2 % du volume total de déchets radioactifs, mais concentrent près de 95% de la radioactivité totale contenue dans ces déchets. En France, ces déchets HA sont vitrifiés, c'est-à-dire qu'ils sont fixés dans une matrice particulièrement stable et résistante sur des durées extrêmement longues.¹

Les déchets dits MA-VL, moins actifs, mais avec des quantités significatives de radionucléides à vie longue, correspondent principalement aux structures métalliques entourant le combustible (gainages tronçonnées sous forme de « coques », embouts des assemblages combustibles...) séparés lors des opérations de recyclage et à certains résidus liés au fonctionnement des installations nucléaires (déchets cimentés par exemple). Les autres types de déchets MA-VL proviennent des composants qui ont été activés lors de leur exposition au flux de neutrons des réacteurs. Les déchets MA-VL représentent environ 6% du volume et 5% de l'activité totale des déchets.



¹ Source : <https://inventaire.andra.fr/les-matieres-et-dechets-radioactifs/classification-des-dechets-radioactifs-et-filieres-de-gestion>

² Source : <https://inventaire.andra.fr/les-matieres-et-dechets-radioactifs/classification-des-dechets-radioactifs-et-filieres-de-gestion>

3. Comment fonctionne un stockage géologique ?

Il s'agit d'isoler les déchets de l'environnement humain et de la biosphère sur des durées pouvant atteindre plusieurs centaines de milliers d'années voir des millions d'années. Le principe consiste à retarder la migration des radioéléments vers l'homme sur des durées suffisamment longue pour leur activité devienne compatible avec les niveaux de radioactivité naturelle. Pour des formations géologiques stables (sans volcanisme par exemple), le vecteur de migration vers la surface est constitué des eaux souterraines. De même, pour des colis statiques, et dans lesquels les radioéléments sont fixés dans une matrice, l'agent de dégradation principal des colis et de mobilisation des radioéléments est aussi l'eau.

Les concepts de stockage sont donc prévus comme un ensemble de dispositifs (barrières) successifs limitant cette circulation d'eau, tout d'abord vers le déchet puis, une fois que le déchet relargue ses radioéléments, vers la surface.

Les premières barrières sont dites « ouvragées », c'est-à-dire fabriquées par l'homme. Il s'agit de la matrice dans laquelle les radioéléments sont fixés (par exemple la matrice vitreuse pour les déchets de haute activité français), du colis et de l'éventuel surcolisage de protection dont le matériau peut être très résistant à la corrosion, des matériaux de comblement et de scellement des cavités et tunnels autour des colis, des ouvrages souterrains par lesquels les colis sont introduits et mis en place, des matériaux de scellement des accès...

La barrière ultime est la barrière géologique, c'est-à-dire la roche hôte au sein de laquelle le site est construit. En France on a retenu une couche d'argile très imperméable avec de très bonnes propriétés d'auto-réparation.

4. Historique du choix de la solution de référence Française

Le déroulement des études suit en France globalement les évolutions internationales. Dès 1974 un programme de recherche démarre sur l'identification de sites français favorables. La France collabore au sein d'un programme européen à partir de 1976 et est alors plus spécifiquement chargée de l'étude des formations granitiques. En 1981, un groupe de travail sur l'aval du cycle du combustible est créé par le Conseil Supérieur de la Sécurité Nucléaire (CSSN)

La commission présidée par le professeur Raimond Castaing se réunit entre 1982 et 1984 et étudie les possibles devenirs des combustibles usés et de déchets radioactifs. Elle prend position en faveur du stockage géologique, en recommandant que d'autres formations géologiques que le granite soient étudiées. Elle introduit également la notion de « laboratoire souterrain ». On note enfin l'émergence de l'idée de la séparation et de la transmutation des radioéléments. De 1985 à 1987, une commission de géologues du CSSN travaille à préciser les critères techniques devant être satisfaits pour un stockage géologique.

Entre 1987 et 1989, l'ANDRA conduit des études géologiques préliminaires pour déterminer les possibilités d'implanter un laboratoire souterrain de recherches dans différents départements français. Quatre sites a priori favorables sont sélectionnés sur la base d'un inventaire réalisé par le BRGM. Ces recherches soulèvent un fort mouvement d'opposition conduisant à un véritable blocage politique et social. En 1990, le gouvernement décide donc de suspendre ces travaux pour 1 an, et demande au Parlement d'évaluer la situation et de suggérer de nouvelles orientations. Cette mission sera confiée à l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques. Le rapport issu de ces travaux, rédigé par Christian Bataille, apporte des propositions novatrices sur le plan de la démocratisation, de l'information et du contrôle de la recherche par le pouvoir législatif.

Ces propositions sont à l'origine de la loi 91-1381 du 30 décembre 1991 qui définit la marche à suivre pour le déroulement de la recherche relative à la gestion des déchets nucléaires. La France est ainsi le premier pays européen à avoir défini dans un cadre parlementaire un processus de recherche pour la gestion des déchets radioactifs.

La loi définit trois axes de recherche que le gouvernement a poursuivi de manière simultanée et complémentaire, avec des budgets répartis de manière équilibrée.

- Axe 1 : La recherche de solutions permettant la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue présents dans les déchets confié au CEA
- Axe 2 : l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains confié à l'ANDRA
- Axe 3 : l'étude de procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée en surface des déchets. Confié au CEA

Par ailleurs, la loi modifie les statuts de l'ANDRA qui est désormais placée sous la tutelle des ministres de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement. Une Commission Nationale d'Evaluation (CNE) est créée chargée de préparer un rapport Annuel pour le Parlement faisant état de l'avancement des recherches.

La loi établit un processus d'évaluation graduel des différentes options de gestion des déchets. Au niveau local des Comités Locaux d'Information et de Suivi (CLIS) et, au niveau national l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques et la CNE sont chargés de l'évaluation des travaux de recherche. Ce processus d'évaluation vise à instaurer une concertation responsable, et à favoriser la transparence et le partage de l'expertise pour que les solutions obtenues soient crédibles et légitimes.

Le processus d'évaluation devient séquentiel, avec un état annuel de l'avancement des recherches et un nouveau rendez-vous avec le Parlement en 2006, soit quinze ans après, destiné à décider le cas échéant, de la solution la plus adaptée pour gérer les déchets.

Fin 1992, le Gouvernement confie à Christian Bataille une « mission de médiation pour l'implantation de laboratoires de recherches souterrains ». Cette mission a d'abord procédé à un appel à candidature volontaire. Après examen de l'intérêt géologique de 30 demandes transmises à l'ANDRA et au BRGM, les 8 départements sélectionnés ont été l'Allier, le Gard, l'Indre, la Marne, la Haute-Marne, la Meurthe et Moselle, la Meuse et la Vienne. Les premiers contacts ont ensuite été pris auprès des autorités locales, de la commune à la région, auprès des chambres consulaires, syndicats agricoles, associations de protection de l'environnement. Des actions d'information et de communication ont été mises en place. Le rapport final du médiateur a été remis au Premier Ministre en décembre 1993. 4 départements ont été proposés pour des travaux préliminaires d'investigations géologiques : Gard, Haute-Marne, Meuse et Vienne. Le rapport insistait sur la nécessité de maintenir un effort d'explication et de clarification, d'apporter des garanties sur le devenir des laboratoires, et sur la réversibilité du stockage. On soulignait aussi la nécessité d'assurer une coordination permanente entre les services de l'Etat au niveau national et local et la mise en œuvre de moyens au niveau local (aides aux départements et aux CLIS).

De 1994 à 1996, l'ANDRA a engagé des travaux préliminaires sur les sites du Gard, de la Meuse-Haute-Marne, et de la Vienne. En février et mars 1997, des enquêtes publiques ont été menées auprès des populations locales concernées. Le 9 Décembre 1998, le gouvernement de Lionel Jospin retient le site de Bure (Meuse) pour la construction du premier laboratoire souterrain. Il a aussi décidé de poursuivre les investigations en vue de créer un deuxième laboratoire en site granitique. Par ailleurs le CEA doit étudier la mise au point d'un stockage de subsurface (10 à 20 m de profondeur) et en étudier la faisabilité dans le département du Gard.

En 2005, après 15 ans de recherches comme prescrit par la loi de 1991, les 3 programmes rendent leur rapport. Le CEA conclut que la séparation-transmutation est possible mais que cela n'affranchit pas du besoin d'un site de stockage. Le CEA conclut aussi que des entreposages de longue durée ne sont possibles que sur des périodes de 300 ans au plus. Après cela il est nécessaire de transférer les colis dans de nouveaux entrepôts. L'ANDRA conclut que le stockage en formation géologique profonde dans

l'argile de Bure permet d'isoler de manière sûre les radioéléments sur de très longues durées. Ces conclusions sont validées par l'ASN, la CNE et des experts internationaux.

Avis de l'ASN sur les trois voies de recherche³

« L'ASN considère que la faisabilité technologique de la séparation et de la transmutation n'est pas acquise à ce jour. Même en cas de mise en œuvre d'une telle solution, l'élimination des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue ne sera pas totale. Une autre solution de référence est nécessaire ».

« L'ASN considère que l'entreposage de longue durée ne peut pas constituer une solution définitive pour la gestion des déchets radioactifs de haute activité à vie longue ».

« Le dossier 2005 argile, remis par l'ANDRA à ses ministres de tutelle, en juin 2005, a été instruit par l'IRSN et a fait l'objet d'un avis du groupe permanent d'experts en charge des déchets radioactifs dans la séance du 12 au 13 décembre 2005. Ces examens mettent en évidence que des résultats majeurs relatifs à la faisabilité et à la sûreté d'un stockage ont été acquis sur le site de Bure. L'ASN considère que le stockage en formation géologique profonde est une solution de gestion définitive qui apparaît incontournable ».

Un débat public national se tient en 2005/2006. En 2006, sur la base de ce débat et des évaluations, les parlementaires par loi de programme n°2006-739 du 28 juin 2006 entérinent le choix du stockage géologique profond et posent une exigence de réversibilité d'au moins 100 ans. La loi demande la mise en place d'un Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR) révisé tous les 3 ans. La loi fixe un calendrier pour les 20 années suivantes.

Un deuxième débat public a lieu en 2013 et, en 2016 une troisième loi (loi n° 2016-2015 du 25 juillet 2016) précise le calendrier et les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde, ainsi que la position en matière de réversibilité.

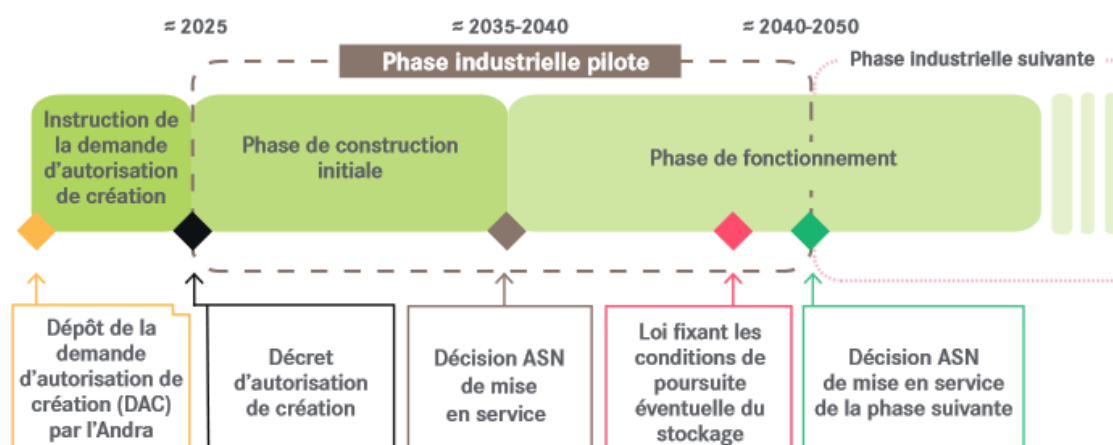
« La réversibilité est la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion. » La réversibilité est mise en œuvre par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

On prévoit en particulier *« une phase industrielle pilote permettant de conforter le caractère réversible et la démonstration de sûreté de l'installation, notamment par un programme d'essais « in-situ » La phase industrielle pilote comprend des essais de récupération de colis de déchets. ».*

Ceci aboutit au nouveau planning ci-dessous⁴.

³ Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) du 1er février 2006 sur les recherches menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991

⁴ <https://www.andra.fr/cigeo/les-installations-et-le-fonctionnement-du-centre/les-differentes-phases-du-projet#section-2256>



1. Selon la proposition de l'Andra, la gouvernance de Cigéo est la façon dont sont préparées, prises et suivies les décisions relatives au centre de stockage.

5. Où en est le projet de site de stockage français ?

5.1. Le laboratoire souterrain

Pendant les phases de prise de décision, les études se sont appuyées sur des résultats obtenus dans divers laboratoires souterrains creusés dans divers pays, dans le cadre de collaborations internationales. Mais l'ANDRA dispose depuis 2000 d'un laboratoire propre au projet CIGEO, dans la formation géologique même du projet. Le Laboratoire souterrain est un outil de recherche unique en France : implanté à 490 mètres de profondeur, il permet de mener des travaux scientifiques et technologiques directement au sein de la couche d'argilite sélectionnée pour l'implantation de CIGEO.

Les études menées par l'Andra au sein de ce Laboratoire incluent la mise en place d'expérimentations scientifiques et de mesures in-situ des propriétés de la roche, en collaboration avec de nombreux partenaires, et sur la réalisation d'essais technologiques, directement au cœur de la roche.

Le site du Laboratoire souterrain se compose **d'installations en surface** (locaux administratifs, ateliers, laboratoires et bâtiment d'accueil du public), sur une superficie d'environ 17 hectares, **de deux puits d'accès** de 4 et 5 mètres de diamètre, et de **2 000 mètres de galeries** souterraines exploitées à 445 et 490 mètres de profondeur, implantées directement dans la couche argileuse du Callovo-Oxfordien.

On peut le visiter virtuellement sur le site de l'ANDRA, et aussi visualiser quelques vidéos sur les recherches en cours : <https://meusehautemarne.andra.fr/landra-en-meusehaute-marne/installations/le-laboratoire-souterrain>

5.2. Les étapes du projet de construction de CIGEO

En 2009, l'ANDRA définit la ZIRA (zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie) à proximité du laboratoire souterrain. En 2011 commencent les études pour le projet de stockage nommé CIGEO.

En avril 2016 l'ANDRA dépose le Dossier des Options de Sûreté (DOS^o auprès de l'ASN, qui rend son avis en 2018.⁵

Les études d'ingénierie sont en cours, en phase APD, pour les installations de surface et les installations souterraines, ainsi que les nombreuses demandes d'autorisations spécifiques associées.

⁵ <https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2018-AV-0300-de-l-ASN-du-11-janvier-2018>

Le 3 Août 2020, l'ANDRA dépose la demande de déclaration d'utilité publique. La prochaine étape sera la demande d'autorisation de création puis après la construction initiale, la demande d'autorisation de mise en service.

5.3 Les études menées en parallèle de l'avant-projet – le choix se conforte

Etant donné l'ampleur du projet et son impact potentiel sur les générations futures, de nombreuses études sont entreprises pour conforter les choix : travaux de caractérisation de site, mise au point des techniques de minage et de mise en place des colis, mise au point de modèles thermiques, hydrauliques, géomécaniques et physico chimiques, étude des techniques de monitoring pré-et post fermeture, réversibilité, archivage et la mise au point de bases de données, travail sur la transmission des connaissances, observatoire de l'environnement, développement de la réversibilité ...

A noter en particulier, la mise en place en 2018 d'un comité d'experts-économistes, présidé par Émile Quinet, pour réaliser l'évaluation socioéconomique de CIGEO et piloter la contre-expertise, menée par le Secrétariat général pour l'investissement. Le rapport de cette évaluation et de la contre-expertise vient d'être publié⁶.

Cette évaluation répondait,

- *« d'une part à une obligation réglementaire car tout projet, dont le financement apporté par l'État et ses établissements dépasse 20 millions d'euros, doit faire l'objet d'une telle évaluation avec, pour les projets dépassant les 100 millions d'euros, une contre-expertise indépendante réalisée par le Secrétariat général pour l'investissement (SGPI) ;...*
- *D'autre part à un questionnement sur l'opportunité du projet et de ses possibles variantes, grâce à une évaluation qui, d'une part objective et quantifie l'ensemble des coûts et des bénéfices du projet (économiques, sociaux et environnementaux) et, d'autre part, mesure également, de manière qualitative, le service rendu par la réalisation du projet » ...*

Quatre options d'échelonnement des opérations ont été considérées :

- L'option 1 : configuration de réalisation du projet CIGEO tel que prévu par l'Andra, en réponse à la loi et après avis favorable de l'ASN
- L'option 2 : configuration dans laquelle les premiers investissements du projet CIGEO sont réalisés mais où seuls les déchets MA-VL y seraient stockés dans un premier temps. En parallèle, la R&D sur les déchets HA dispose d'un temps supplémentaire sur la période 2019 – 2070, à l'issue de laquelle, soit la recherche est fructueuse et la technologie prospective est déployée ; soit en cas d'échec, les déchets HA sont finalement stockés dans CIGEO comme initialement prévu
- L'option 3 : configuration dans laquelle les premiers investissements du projet CIGEO sont réalisés mais où aucun déchet n'est stocké. La R&D bénéficie d'un temps supplémentaire sur la période 2019 – 2070, pour le déploiement d'options de gestion alternatives pour les déchets MA-VL et HA. À l'issue de cette période, plusieurs possibilités s'ouvrent en fonction du succès de la recherche et de coûts.
- L'option 4 : configuration où la décision de lancer les premiers investissements liés à CIGEO est reportée. La R&D d'options de gestion alternatives bénéficie d'efforts financiers conséquents jusqu'en 2070. Le report de la décision d'investissement fait également peser un risque important de perte du site d'implantation actuel du stockage en Meuse/Haute-Marne, considérant que durant cette période aucune opération d'aménagement ne sera engagée. À l'issue de la période de recherche complémentaire, différentes possibilités apparaissent pour assurer la gestion des déchets HA et MA-VL en fonction des résultats de la recherche, de la perte du site et des coûts

⁶ Évaluation socioéconomique du projet global CIGEO Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue – ANDRA - CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-18-0008 – Août 2020. Et sa Synthèse de l'évaluation socioéconomique du projet CIGEO – Mars 2021

Ces options sont évaluées dans le cadre de deux scénarios d'évolution de la société :

- le premier scénario, appelé « scénario OK » caractérise une société prospère, en paix, jouissant d'institutions fortes, d'un État de droit et d'un taux de croissance économique en moyenne toujours positif
- a contrario, le second scénario, appelé « scénario KO », représente une société chaotique, avec une fragilisation du cadre de gouvernance et des institutions, correspondant à une dégradation économique progressive, mais très durable, entraînant une régression institutionnelle et des conflits. Dans ce contexte de dérive, les normes de sécurité et de sûreté des installations ne sont plus préservées, accentuant le risque d'abandon et d'accident.

Enfin, afin de refléter au mieux la prise en considération de la préoccupation portée aux générations futures ou des incertitudes qui peuvent peser sur le niveau de la croissance, des variations des taux d'actualisation ont été testées selon trois niveaux : bas, intermédiaire et haut.

Les études quantitatives réalisées sur ces bases conduisent à la conclusion suivante :

« Dans une société persuadée de sa stabilité perpétuelle, c'est-à-dire persuadée de la permanence d'un scénario OK et priorisant l'intérêt de ses contemporains..., écartant un taux d'actualisation faible..., n'attribuant pas de valeur suffisante au bénéfice assurantiel d'une solution de mise en sécurité définitive et, d'autre part, rejetant la notion de risques inhérents à tout entreposage de longue durée, alors le choix mis en évidence par le calcul socioéconomique consiste à renouveler continuellement l'entreposage des déchets radioactifs. Ce choix, s'il venait à être fait, peut transformer de facto une option de gestion aujourd'hui considérée comme temporaire en une mode de gestion de long terme qui nécessiterait l'intervention perpétuelle de la société : en effet, à chaque réexamen, toute chose égale par ailleurs, notamment au plan scientifique, le même raisonnement conduirait à la même décision et donc au statut quo.

A contrario, dès lors que l'éventualité d'une défaillance sociétale à long terme est considérée, c'est-à-dire que la survenue d'une société chaotique est prise en compte ou que l'intérêt porté aux générations futures est suffisamment élevé (c'est-à-dire qu'un taux d'actualisation bas est retenu) ou qu'à défaut une valeur suffisante est accordée au bénéfice assurantiel lié à la mise en sécurité définitive, alors l'option de projet de réalisation du centre de stockage CIGEO constitue la solution préconisée et la plus favorable à l'ensemble de la société. ».

6. Description du concept de stockage proposé pour CIGEO⁷

6.1. La formation géologique

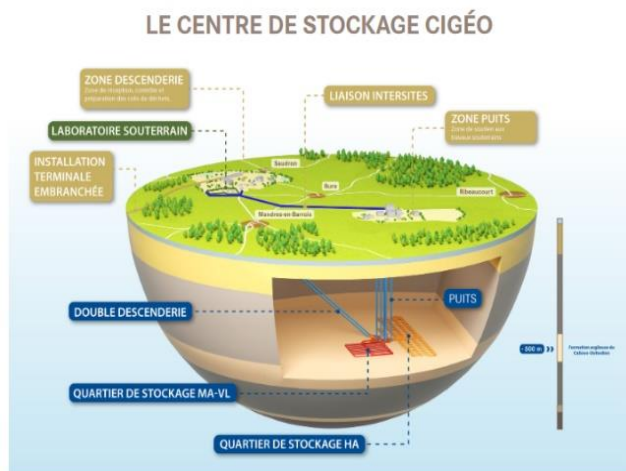
Comme décrit dans le dossier d'options de sûreté⁸, la formation géologique retenue (argile de type Callovo-Oxfordien) est de grande épaisseur (plus de 100 m), située à grande profondeur (environ – 500m), ce qui la protège de l'érosion sur de longues durées. Elle est homogène et continue sur une grande surface (350 km²), avec très peu d'hétérogénéités structurales (mis en évidence par la caractérisations sismiques 2D et 3D, et des forages). Les eaux interstitielles présentent une chimie apte à immobiliser les radioéléments, et des minéraux argileux sont particulièrement capables de fixer les éléments chimiques par sorption. La perméabilité à l'eau est très faible, avec très peu de gradients hydrauliques sur la formation, ce qui conduit à une très faible mobilité de l'eau et des éventuels radioéléments dissous qu'elle porterait. L'argile présente par ailleurs une très bonne résistance à la diffusion des radioéléments.

⁷ Site ANDRA : <https://www.andra.fr/cigeo>

⁸ Dossier d'option de sûreté –Partie après fermeture (DOS-AF) VOLUME II –Description du système de stockage1-Les caractéristiques du site d'implantationCG-TE-D-NTE-AMOA-SR2-0000-15-0062/A

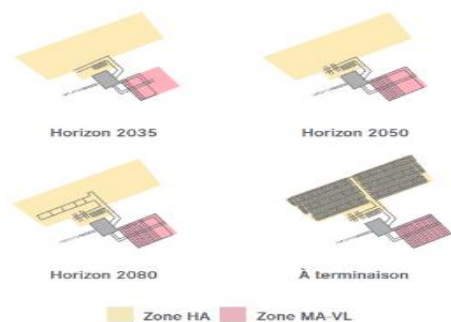
6.2. Le concept

Le centre de stockage CIGÉO, s'il est autorisé, sera situé dans la région Grand-Est, à cheval entre les départements de la Meuse et de la Haute-Marne. Il comprendra des installations en surface et en souterrain.

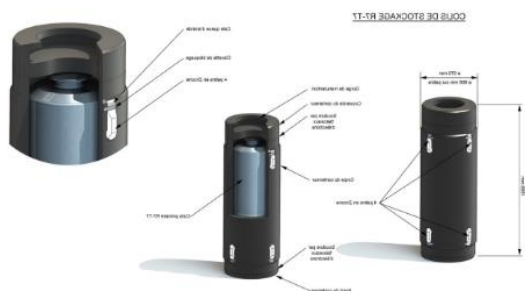


Les installations de surface de CIGÉO seront réparties sur deux zones (zone descenderies et zone puits) distantes de quelques kilomètres. Les installations de la zone descenderie, situées entre la Meuse et la Haute-Marne, serviront notamment à la réception, au contrôle et à la préparation des colis de déchets avant leur descente dans l'installation souterraine par un tunnel incliné : la descenderie. Les installations de la zone puits, situées en Meuse, serviront essentiellement aux travaux de creusement et de construction des ouvrages souterrains ainsi qu'au stockage des versés (déblais issus du creusement).

LE DÉPLOIEMENT PROGRESSIF DE CIGÉO



Située à environ 500 mètres de profondeur, l'installation souterraine de CIGÉO se développera au fur et à mesure de son exploitation (les colis de déchets arriveront progressivement). Elle se composera de zones de stockage pour les déchets de haute activité et de zones de stockage pour les déchets de moyenne activité à vie longue, de galeries de liaison et d'installations techniques. Au terme d'une centaine d'années d'exploitation, cette installation s'étendra sur une surface d'environ 15 km².



Les déchets seront stockés, au moyen de dispositifs robotisés, dans des tunnels horizontaux appelés alvéoles, creusées au cœur de la couche d'argile. Les déchets de haute activité seront stockés dans des alvéoles de 150m de longueur et d'environ 70 cm de diamètre revêtus d'un chemisage métallique. Ces colis de stockage seront espacés par des intercalaires pour ajuster la charge thermique sur l'argile, de manière à ne pas dépasser une température de 80°C en paroi d'alvéole.

Les déchets de moyenne activité à vie longue seront stockés en colis béton dans des alvéoles de quelques centaines de mètres de longueur et d'une dizaine de mètres de diamètre.

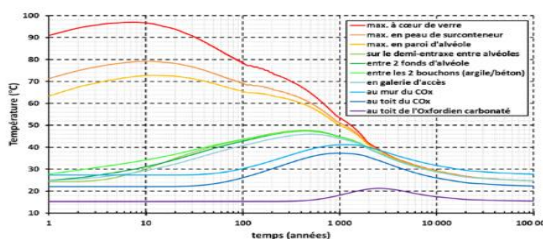


Figure 3.2-3 : Evolutions temporelles de la température en différents points dans et autour de l'alvéole HA2 le plus chaud (l'évolution de la température dans les argilites en paroi est donnée par la courbe jaune)

6.3. Les performances⁹

Les modélisation complexes prenant en compte les évolutions et interactions du stockage et de son environnement conduisent à montrer que, en scénario normal, les doses encourues par la population locale resteront très en-deçà des 0,25 mSv par an préconisés dans le guide ASN de 2008, et le maximum de dose interviendra entre 200000 et plus d'un million d'années suivant les cas. Des scénarios dégradés ont aussi été modélisés et mettent en évidence que « De par ses caractéristiques géométriques et physico-chimiques intrinsèques

(profondeur au-delà de 300 m, épaisseur supérieure à 130 m, faible perméabilité, capacité de rétention élevée, faibles coefficients de diffusion...), la formation du Callovo-Oxfordien dans laquelle est implantée CIGEO est le composant central pour assurer la sûreté passive après fermeture et à très long terme.... A cela s'ajoutent les caractéristiques géologiques favorables du site d'implantation de CIGEO : sa localisation dans une zone géologique d'activité sismique très faible et dont l'évolution géodynamique interne est limitée sur le million d'années, l'absence de discontinuités majeures, des faibles gradients hydrauliques verticaux dans le Callovo-Oxfordien, l'absence de ressources exceptionnelles...Les dispositions de conception retenues, notamment en matière d'architecture générale de CIGEO, tirent parti des performances favorables du Callovo-Oxfordien.... Les composants ouvragés jouent un rôle direct plus limité en regard de celui du Callovo-Oxfordien. Ils contribuent néanmoins à la robustesse du système de stockage en limitant le relâchement des radionucléides et toxiques chimiques et/ou leur migration hors des alvéoles, en particulier suivant la voie de transfert par les ouvrages, notamment pour des situations de court-circuit du Callovo-Oxfordien ; Il s'agit plus particulièrement du conteneur de stockage HA et la matrice vitreuse HA de par la forte activité des déchets HA et des scellements des liaisons surface-fond de par leur position en sortie du stockage. »

Tableau 2.4-1 :

Scénario d'évolution normale : doses maximales et occurrence des doses maximales aux exutoires « pompage dans le Barrois » et « pompage dans le Dogger (zone de fracturation diffuse) » pour les biosphères tempérée et chaude

		Biosphère tempérée		Biosphère chaude	
		Dose maximale (mSv/an)	Date de dose maximale (milliers d'années)	Dose maximale (mSv/an)	Date de dose maximale (milliers d'années)
Situation de référence	Pompage au Barrois 150 L.min ⁻¹	4,2.10 ⁻⁰⁷	≥1000	4,8.10 ⁻⁰⁷	≥1000
	Pompage au Dogger (zone de fracturation diffuse) 100 L.min ⁻¹	1,0.10 ⁻⁰³	800	1,1.10 ⁻⁰³	≥1000
Situation enveloppe	Pompage au Barrois 150 L.min ⁻¹ Stockage implanté avec une garde supérieure de 50 m	1,6.10 ⁻⁰³	340	1,9.10 ⁻⁰³	340
	Pompage au Dogger (zone de fracturation diffuse) 100 L.min ⁻¹ Stockage implanté avec une garde inférieure de 50 m	1,3.10 ⁻⁰²	210	1,8.10 ⁻⁰²	250

⁹ Dossier d'option de sûreté –Partie après fermeture (DOS-AF) VOLUME II –Description du système de stockage1-Les caractéristiques du site d'implantationCG-TE-D-NTE-AMOA-SR2-0000-15-0062/A