Association des Retraités et Anciens de SGN-Euriware-Orano Projets
ARA

Catherine Veyer Avril 2021

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

Cet article est un résumé de l'article complet disponible sur le site de l'ARA, à la rubrique « Energies-environnement », dans le « 3.5. Energie nucléaire – Stockage des déchets ».

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 et de moyenne activité à vie longue. 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. 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 que 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. On distingue les barrières dites « ouvragées », c'est-à-dire fabriquées par l'homme et se superposant l'une à l'autre, et la barrière ultime qu'est la barrière géologique, c'est-à-dire la roche hôte au sein de laquelle le site est construit.

3. 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. La commission présidée par le professeur Raimond Castaing se réunit entre 1982 et 1984 et, après avoir étudié les possibles devenirs des combustibles usés et de déchets radioactifs, elle prend position en faveur du stockage géologique. Elle introduit également la notion de « laboratoire souterrain ». On note aussi 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. 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 (OPECST). 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.

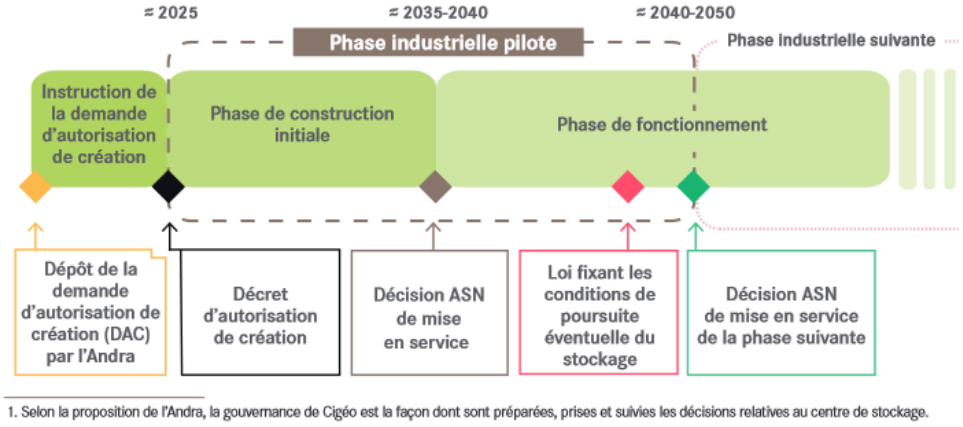
La loi définit trois axes de recherche que le gouvernement a poursuivi de manière simultanée et complémentaire, avec des budgets répartis de manière équilibrée.

- Axe 1 : Séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue présents dans les déchets, confié au CEA
- Axe 2 : le stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes, confié à l'ANDRA
- Axe 3 : procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée en surface des déchets. Confié au CEA

La loi établit un processus d'évaluation graduel des différentes options de gestion des déchets, qui implique les acteurs locaux et nationaux. Un nouveau rendez-vous est programmé avec le Parlement en 2006, soit quinze ans après, pour 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 ». Après examen de l'intérêt géologique de 30 demandes transmises à l'ANDRA et au BRGM, le rapport final du médiateur est remis au Premier Ministre en décembre 1993. 4 départements sont proposés pour des travaux préliminaires d'investigations géologiques : Gard, Haute-Marne, Meuse et Vienne. De 1994 à 1996, l'ANDRA engage des travaux préliminaires sur ces sites. En février et mars 1997, des enquêtes publiques sont 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 est 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 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. 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 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. 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-dessous[1].

[1] https://www.andra.fr/cigeo/les-installations-et-le-fonctionnement-du-centre/les-differentes-phases-du-projet#section-2256



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) auprès de l'ASN, qui rend son avis en 2018.[2] 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. 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.

4. Le laboratoire souterrain

L'ANDRA dispose depuis 2000 d'un laboratoire propre au projet CIGEO, dans la formation géologique même du projet. C'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. Le site 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. Description du concept de stockage proposé pour CIGEO[3]

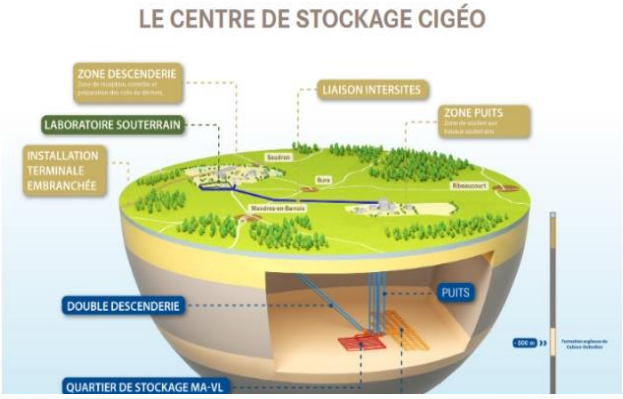
La formation géologique. Comme décrit dans le dossier d'options de sûreté[4], la formation géologique retenue (argile de type Callovo-Oxfordien) est de grande épaisseur (plus de 100 m), située à grande profondeur (environ – 500m), ce qui la protège de l'érosion sur de longues durées. Elle est homogène 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.

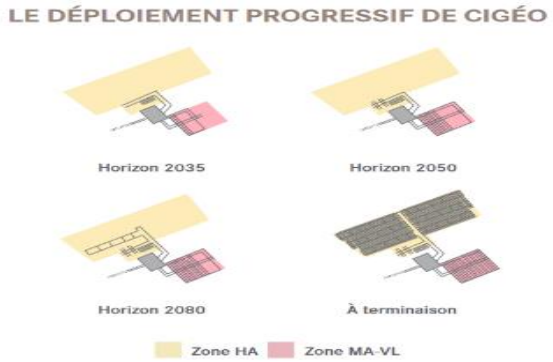
[2] https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2018-AV-0300-de-l-ASN-du-11-janvier-2018

[3] Site ANDRA : https://www.andra.fr/cigeo

[4] 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

<u>Le concept</u>. Le centre de stockage Cigéo, comprendra des installations en surface et en souterrain.





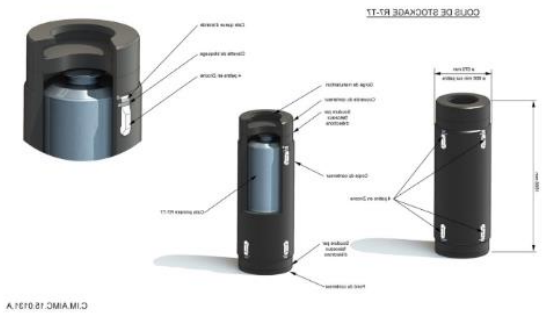


Figure 2.4-2 : Illustration d'un colis de stockage de déchets vitrifiés de type R7-T7

dans des alvéoles de quelques centaines de mètres de longueur et d'une dizaine de mètres de diamètre.

<u>Les installations de surface</u> seront réparties sur deux zones (zone descenderies et zone puits) distantes de quelques kilomètres. La zone descenderie, entre la Meuse et la Haute-Marne, servira 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. La zone puits, en Meuse, servira essentiellement aux travaux de creusement et de construction des ouvrages souterrains ainsi qu'au stockage des verses (déblais issus du creusement).

Située à environ 500 mètres de profondeur, <u>l'installation souterraine</u> 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 HA seront stockés dans des alvéoles de 150 m 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 MA-VL seront stockés en colis béton

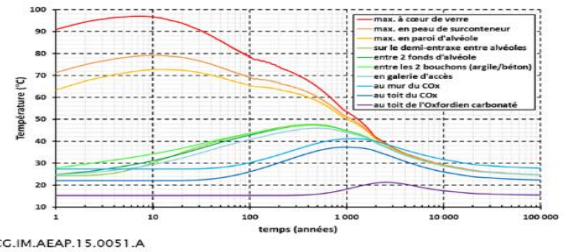


Figure 3.2-3 : Evolutions temporelles de la température en différents points dans et autour de l'alvéole HA2 le plus chaud (l'évolution de la température dans les argilites en paroi est donnée par la courbe jaune)

<u>Les performances</u>[5].Les modélisations 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 Cigéo 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 Cigéo : 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 Cigéo, 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 et des scellements des liaisons surface-fond.* »

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

[5] 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