

Note de positionnement sur la réversibilité

Janvier 2016

SOMMAIRE

Introduction	5
1. Le principe du stockage	7
Les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue.....	7
Une nécessité éthique de s'occuper de ces déchets radioactifs	8
La solution : le stockage géologique réversible	9
Une solution qui fait consensus au niveau international	10
Des moyens complémentaires de gestion	11
2. Cigéo, la réponse technique	13
3. Le développement de Cigéo	15
4. Pourquoi Cigéo maintenant ?	18
5. La réversibilité et ses outils	19
Annexes	27



Avec la loi du 30 décembre 1991, le Parlement a inscrit la politique française de gestion des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue dans une perspective de recherche de solutions pérennes et sûres. Le Parlement a alors créé l'Andra, entité indépendante des producteurs de déchets et placée sous la triple tutelle des ministères en charge de l'environnement, de l'énergie et de la recherche.

En 2006, le Parlement a voté une loi dans laquelle il retient le stockage profond comme solution de gestion à long terme pour les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL).

Extrait de la loi n°2006-739 du 28 juin 2006

Article 5 : [...] le stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs est le stockage de ces substances dans une installation souterraine spécialement aménagée à cet effet, dans le respect du principe de réversibilité.

Article 12 : [...] l'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs ne garantissant pas la réversibilité de ce centre dans les conditions prévues par [la] loi ne peut être délivrée. [...]

L'autorisation [de création] fixe la durée minimale pendant laquelle, à titre de précaution, la réversibilité du stockage doit être assurée. Cette durée ne peut être inférieure à cent ans. [...]

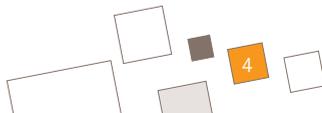
Depuis lors, l'Andra s'est attachée à conduire une large démarche de dialogue visant à proposer une réponse cohérente à la loi et aux attentes de la société. Pour cela, cette démarche a été conduite à l'échelle locale (commission réversibilité du Comité local d'information et de suivi du Laboratoire souterrain de l'Andra, rencontres avec le public et les acteurs locaux...), nationale (colloques scientifiques, échanges avec l'Autorité de sûreté nucléaire et les évaluateurs, rencontres avec des associations) et internationale (projet sous l'égide de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE, conférence internationale de Reims en décembre 2010). Ces échanges visaient à établir une proposition concrète pour le débat public sur le projet Cigéo qui a été organisé en 2013. Suite au débat public, l'Andra a poursuivi sa réflexion et a complété son approche en matière de réversibilité.

L'objet du présent document est de rappeler le principe du stockage géologique, de présenter l'installation industrielle que l'Andra conçoit et son développement actuel, d'expliquer l'intérêt d'avancer vers la création de Cigéo aujourd'hui et comment le principe de réversibilité se place au cœur de l'approche technique et sociétale de l'Andra. Il vise ainsi à contribuer au débat parlementaire sur la réversibilité du stockage.

Définition de la réversibilité issue du débat public Cigéo de 2013¹

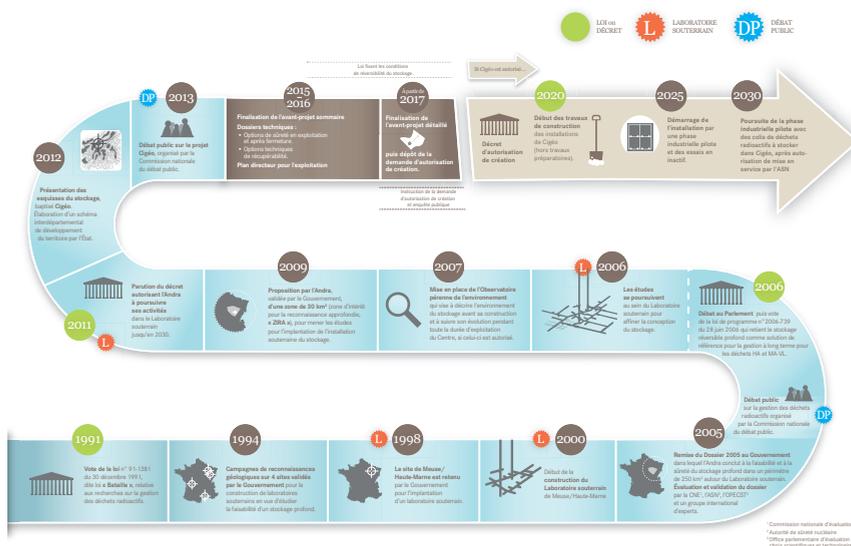
La réversibilité est la capacité à offrir à la génération suivante des choix sur la gestion à long terme des déchets radioactifs, incluant notamment le scellement d'ouvrages de stockage ou la récupération de colis de déchets ; cette capacité est notamment assurée par un développement progressif et flexible du stockage.

1. Délibération du conseil d'administration de l'Andra du 5 mai 2014 relative aux suites à donner au débat public sur le projet Cigéo, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (2014), Journal Officiel, n° 108, p 7851-7854



Introduction

Les déchets radioactifs sont issus principalement de la production d'énergie nucléaire, mais aussi de la Défense nationale, de l'industrie, des secteurs de la santé et de la recherche. La grande majorité d'entre eux bénéficie de solutions déjà opérationnelles : 90 % du volume total des déchets radioactifs produits chaque année en France est aujourd'hui stocké en surface dans les centres de stockage de l'Andra. En revanche, les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue ne peuvent pas être stockés en surface ou à faible profondeur compte-tenu des risques qu'ils présentent sur le long terme pendant plusieurs dizaines ou centaines de milliers d'années.



Voir annexes pour détails

C'est pourquoi, après 25 ans de recherche, notamment au Laboratoire souterrain de l'Andra en Meuse/Haute-Marne, et un dossier de faisabilité produit par l'Andra en 2005 et évalué internationalement, le Parlement a retenu, en 2006, la mise en œuvre d'un stockage géologique profond réversible comme solution de référence pour assurer la mise en sécurité à long terme des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Le stockage profond permet en effet de limiter les charges pesant sur les générations futures. Sa réversibilité leur assure des capacités de choix et d'évolution par rapport aux décisions prises par notre génération, y compris si elles souhaitent reconsidérer les choix antérieurs. Elle permet d'impliquer la société dans la gouvernance de Cigéo.

La loi du 28 juin 2006 donne ainsi à l'Andra la mission de concevoir et d'implanter le centre de stockage réversible qui accueillera ces déchets : le Centre industriel de stockage géologique Cigéo.

En surface, à faible profondeur, en profondeur : des solutions proportionnées aux dangers

Pour un stockage de déchets radioactifs, comme pour toute installation nucléaire, la protection de l'homme et de l'environnement repose sur le site d'implantation choisi, sur sa conception et sur la qualité des opérations de construction, d'exploitation et de surveillance. Différents types de stockage adaptés aux sites et aux types de déchets concernés ont été conçus. On distingue principalement :

- Le stockage en surface,
- Le stockage à faible profondeur, jusqu'à quelques dizaines de mètres de profondeur,
- Le stockage géologique, au-delà de 200 m de profondeur.

Le type de stockage retenu pour un type de déchets dépend principalement du niveau d'activité du déchet et de la durée pendant laquelle il reste nocif et doit être confiné et isolé de l'environnement.



1. Le principe du stockage

Les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue

Les déchets dits de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) représentent un volume limité (de l'ordre de 3 % du volume des déchets radioactifs existants) et concentrent la quasi-totalité de la radioactivité des déchets radioactifs (plus de 99%).

Ces déchets proviennent principalement du secteur de l'industrie électronucléaire (traitement du combustible usé) et des activités de recherche associées et, dans une moindre part, des activités menées par le CEA liées à la force de dissuasion et à la propulsion navale nucléaire.

Les déchets MA-VL contiennent des quantités importantes de radionucléides à période radioactive longue. Leur niveau de radioactivité se situe, en général, entre 1 million et 1 milliard de becquerels² par gramme³.

Les déchets HA présentent un niveau de radioactivité de plusieurs milliards à plusieurs dizaines de milliards de becquerels par gramme et dégagent de la chaleur. Certains radionucléides contenus ont des périodes très longues (neptunium 237 : 2 millions d'années par exemple).

Des déchets très dangereux

En France, l'irradiation naturelle moyenne individuelle est de l'ordre de 2,4 mSv/an. En comparaison, un temps de présence de l'ordre de 50 millisecondes à un mètre d'un colis HA équivaut à une année d'irradiation naturelle et 1 seconde correspond à 20 ans d'irradiation naturelle. Un temps de présence de l'ordre de 5 secondes à un mètre d'un colis MA-VL équivaut à une année d'irradiation naturelle.

Le projet Cigéo est conçu pour prendre en charge tous les déchets HA et MA-VL qui ont été produits et qui sont à produire par les installations nucléaires existantes. Les déchets qui seront produits par les installations nucléaires en cours de construction (EPR de Flamanville, ITER, réacteur expérimental Jules Horowitz) sont également pris en compte.

2. Le becquerel (Bq) mesure le niveau de radioactivité (appelé activité) c'est-à-dire le nombre de désintégrations par seconde : 1 Bq = 1 désintégration par seconde.
3. Par comparaison, les déchets très faible activité (TFA) (30 % du volume) ont un niveau de radioactivité qui est en général inférieur à 100 becquerels par gramme, les déchets faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) (60% du volume) ont un niveau de radioactivité qui se situe en général entre quelques centaines de becquerels à un million de becquerels par gramme.



Ainsi, le projet Cigéo est dimensionné pour accueillir de l'ordre de 10 000 m³ de déchets HA et 75 000 m³ de déchets MA-VL. Parmi ceux-ci, 60 % des déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) et 30 % des déchets de haute activité (HA) sont déjà produits.

Dans l'attente d'une solution de gestion à long terme, ils sont entreposés sur les sites de production. Pour certains d'entre eux, les déchets HA en particulier, un entreposage de plusieurs décennies est nécessaire avant leur prise en charge dans le stockage, correspondant à une première phase de décroissance de la radioactivité.

Des déchets ultimes

Comme les autres catégories de déchets radioactifs, les déchets HA et MA-VL font l'objet de programmes menés par les producteurs, visant à réduire leur volume et leur nocivité. Les méthodes de confinement, principalement par vitrification, cimentation, voire bitumage, contribuent au confinement à court et moyen terme de la radioactivité.

Les déchets HA et MA-VL sont des déchets ultimes dans le sens où les études conduites depuis plusieurs décennies n'ont pas permis d'identifier un intérêt économique pour leur réutilisation.

- Pour les déchets HA, il s'agit en effet de résidus des opérations de traitement des combustibles irradiés dont l'objectif est justement de permettre la séparation, d'une part, des matières nucléaires valorisables (uranium et plutonium) et, d'autre part, des substances non réutilisables qui sont vitrifiées (produits de fission et actinides mineurs [américium, curium...]).
- Pour les déchets MA-VL, il s'agit de pièces métalliques fortement irradiées, notamment celles qui entourent les combustibles usés retraités (coques et embouts), d'effluents liquides solidifiés, de déchets issus de la maintenance ou du démantèlement des installations nucléaires, de laboratoires et d'installations liées à la Défense nationale.

Une nécessité éthique de s'occuper de ces déchets radioactifs

La grande dangerosité des déchets HA et MA-VL et leur durée de vie très longue donnent aux générations qui bénéficient des avantages liés à l'industrie nucléaire une responsabilité éthique : trouver et mettre en œuvre des solutions de gestion à court, moyen et long terme qui permettent d'assurer, aujourd'hui et demain, la protection des hommes et de l'environnement du danger que présentent ces déchets.

Aujourd'hui, les déchets HA et MA-VL déjà produits sont placés, en toute sûreté, dans des installations d'entreposage. C'est un mode de gestion temporaire. Il est donc nécessaire de trouver, d'étudier et de mettre en œuvre une solution de gestion durable. C'est



l'objectif des recherches menées par l'Andra depuis plus de 20 ans sur le stockage profond. Cette installation est en effet conçue pour assurer sur le très long terme le confinement de la radioactivité des déchets qui y seraient placés. Cette solution permet de limiter la charge portée par les générations futures, car, une fois fermée, elle ne nécessite plus d'action humaine pour garantir sa sûreté, contrairement à un entreposage.

Notre génération a également le devoir de ne pas enfermer les générations futures dans les choix que nous ferions. C'est dans ce sens que l'Andra développe, à la demande du Parlement, un projet de stockage réversible.

Le financement du projet

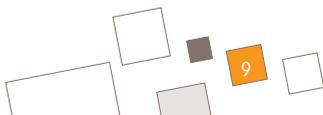
Dans une logique de responsabilité, le financement des études, de la construction, de l'exploitation et de la fermeture de Cigéo est assuré dès aujourd'hui par les générations actuelles pour ne pas le reporter sur les générations futures. Cela se traduit par des provisions, régulièrement actualisées, par EDF, le CEA et par Areva, les trois producteurs de déchets concernés.

Le coût des dispositions techniques prises pour permettre la réversibilité (coût permettant d'offrir des options aux générations futures) est intégré au projet. Les générations actuelles offrent ainsi aux générations suivantes des possibilités et des facilités d'actions futures sur le processus de stockage. Toutefois, si les générations suivantes décidaient d'exercer cette option, par exemple pour modifier le stockage, en retirer les colis ou pour repousser sa date de fermeture définitive, elles auraient à supporter la charge financière de leurs décisions.

La solution : le stockage géologique réversible

La profondeur du stockage, sa conception, son implantation dans une roche argileuse imperméable et dans un environnement géologique stable permettent d'isoler les déchets vis-à-vis des activités humaines et des événements naturels de surface (comme l'érosion) et de confiner les substances radioactives qu'ils contiennent, sur de très longues échelles de temps. Une fois l'installation refermée, celle-ci ne nécessite plus d'actions humaines. Ainsi, la charge de la gestion des déchets n'est pas reportée sur les générations futures, tout en assurant leur protection.

Au fil du temps, les colis de déchets et les ouvrages souterrains de Cigéo se dégraderont au contact de l'eau contenue dans la roche. Après plusieurs centaines d'années, certains radionucléides pourront se dissoudre. L'argile prendra alors le relais pour les retenir et freiner leur déplacement. Le stockage permet ainsi de confiner la radioactivité. Seuls certains radionucléides très mobiles pourront migrer hors de la couche d'argile, à l'échelle de la centaine de milliers d'années et de manière très étalée dans le temps, ce qui atténuera fortement leur concentration. L'effet de ces polluants sur l'homme a été étudié. Leur impact sera inférieur à celui de la radioactivité naturelle.



Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) du 1^{er} février 2006 sur les recherches menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991⁴

« 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. »

Une solution qui fait consensus au niveau international

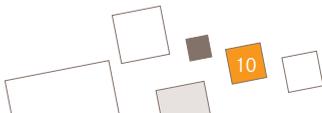
Les pays utilisant l'énergie électronucléaire retiennent tous le stockage géologique comme solution de gestion définitive et sûre à long terme de leurs déchets les plus radioactifs. Les concepts et les milieux géologiques choisis varient en fonction des pays. De nombreux pays ont d'ores et déjà engagé des études sur le stockage géologique. Outre la France, c'est le cas par exemple de la Finlande (qui a obtenu son autorisation de création en 2015), de la Suède (qui a déposé une demande d'autorisation en 2011), du Canada, de la Chine, de la Belgique, de la Suisse, de l'Allemagne, du Royaume-Uni ou encore du Japon.

Par ailleurs, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) indique que « *la sûreté du stockage géologique est largement acceptée dans la communauté technique et de nombreux pays ont maintenant décidé d'aller de l'avant avec cette option* » (The long term storage of radioactive waste : safety and sustainability - A position Paper of International Experts, AIEA 2003).

En 2011, la directive européenne 2011/70/EURATOM du 19 juillet 2011, établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs, rappelle que le stockage géologique constitue actuellement la solution la plus sûre et la plus durable en tant qu'étape finale de la gestion des déchets de haute activité.

En novembre 2015, le Gouvernement finlandais a donné son feu vert pour le démarrage de la construction du centre de stockage de combustibles usés d'Olkiluoto dénommé ONKALO. Posiva, le gestionnaire en charge du stockage des déchets radioactifs, avait déposé la demande d'autorisation de construction en décembre 2012. Le projet avait reçu l'autorisation de l'autorité de sûreté finlandaise STUK en février 2015.

4. www.ASN.fr/Media/Files/L-avis-de-l-ASN-rendu-au-Gouvernement.pdf



Des moyens complémentaires de gestion

Dans le cadre de la loi de 1991, des recherches sur d'autres options de gestion avaient été engagées en parallèle de celles sur le stockage profond : la séparation et la transmutation des radionucléides à vie longue présents dans les déchets et l'entreposage de longue durée.

- La séparation et la transmutation des radionucléides, étudiée par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), vise à réduire la quantité et la nocivité des déchets radioactifs. Le principe consiste, dans une première étape, à séparer les différents radionucléides contenus dans les déchets. Une seconde étape consiste à transformer, par une série de réactions nucléaires, les radionucléides à vie longue en radionucléides à vie plus courte. Les résultats du CEA ont montré que la séparation/ transmutation ne supprime pas la nécessité d'un stockage profond : elle n'est possible que pour les déchets à produire dans le futur et ne serait applicable qu'à certains radionucléides contenus dans ces déchets : ceux de la famille de l'uranium, appelés actinides mineurs (américium, curium, neptunium). Par ailleurs, les installations nucléaires nécessaires à la mise en œuvre d'une telle technique produiraient des déchets d'exploitation qui nécessiteraient aussi d'être stockés en profondeur pour des raisons de sûreté.
- Les études sur l'entreposage de longue durée, également menées par le CEA, avaient pour objectif d'étudier des concepts d'installations d'entreposage, en surface ou à faible profondeur, conçues pour des durées longues (de l'ordre de 300 ans). Le CEA a conclu que les concepts d'installations étudiés présentaient une robustesse particulière aux aléas externes, techniques ou sociétaux. Cependant ils impliquent de maintenir un contrôle de la part de la société et une nécessité de reprise des déchets par les générations futures. En effet, quels que soient les concepts, il reste indispensable de reprendre les colis de déchets lorsque les entrepôts ont atteint leur fin de vie, éventuellement de les reconditionner, et de construire de nouveaux entrepôts.



Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) du 1^{er} février 2006 sur les recherches menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991⁵

A propos de la séparation/transmutation

« 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 a par ailleurs émis un autre avis sur la séparation/transmutation le 4 juillet 2013⁶.

A propos de l'entreposage de longue durée

« Les recherches menées sur l'étude des procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée de ces déchets confirment que l'entreposage est une étape nécessaire pour permettre le refroidissement de certains colis de déchets avant leur stockage en formation géologique profonde ».

« En revanche, l'ASN estime qu'il ne serait pas raisonnable de retenir comme solution de référence la solution consistant à renouveler plusieurs fois un entreposage de longue durée, car elle suppose le maintien d'un contrôle de la part de la société et la reprise des déchets par les générations futures, ce qui semble difficile à garantir sur des périodes de plusieurs centaines d'années ».

« 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 ».

Aujourd'hui, dans le cadre de la loi du 28 juin 2006, la séparation/transmutation et l'entreposage sont des options de gestion qui sont complémentaires au stockage.

5. www.ASN.fr/Media/Files/L-avis-de-l-ASN-rendu-au-Gouvernement.pdf

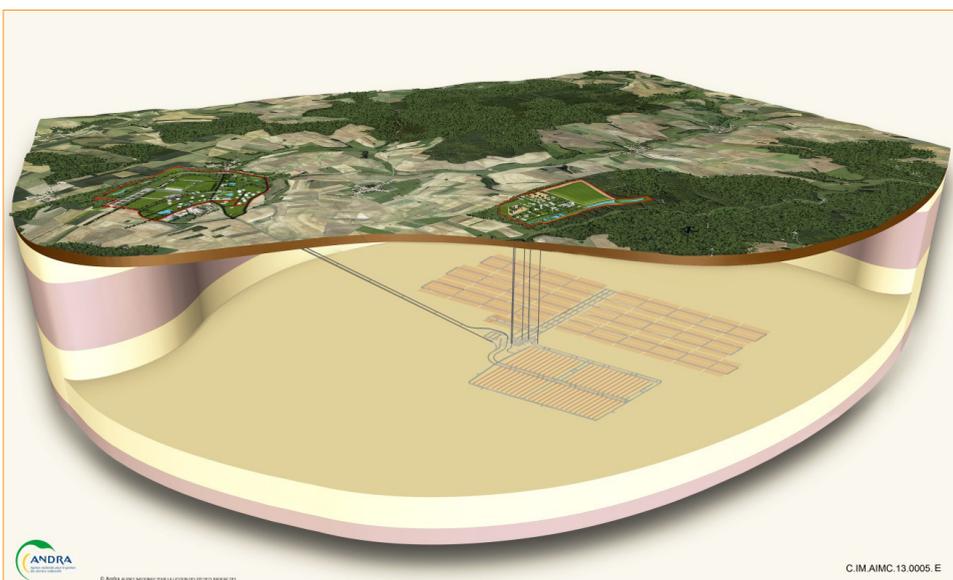
6. <http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Avis-de-l-ASN/Avis-n-2013-AV-0187-de-l-ASN-du-4-juillet-2013>



2. Cigéo, la réponse technique

Le projet de stockage réversible Cigéo comprend un ensemble d'installations constituant une seule et même installation nucléaire de base :

- des installations de surface réparties en deux ensembles distincts :
 - ✓ la zone dédiée à la réception des colis primaires HA et MA-VL, à leurs contrôles et à leur préparation pour le stockage;
 - ✓ la zone dédiée aux activités de support aux travaux souterrains;
- une installation souterraine composée :
 - ✓ de liaisons surface/fond : des descenderies, permettant le transfert au fond des colis au moyen d'un funiculaire, et des puits, pour l'accès du personnel et les travaux;
 - ✓ de quartiers de stockage des colis (alvéoles de stockage et galerie d'accès);
 - ✓ de zones de soutien logistique.



Voir annexes pour détails

Le projet Cigéo comporte les principales phases successives suivantes :

■ La **conception initiale de l'installation** (esquisse, avant-projet sommaire, avant-projet détaillé, études d'exécution) pendant laquelle les ouvrages, bâtiments et procédés de l'installation sont définis techniquement. C'est la phase dans laquelle le projet se situe actuellement. La conception de Cigéo fait l'objet d'évaluations régulières. Elle inclut le dépôt de la demande d'autorisation de création. Les études se poursuivront au-delà de cette phase initiale, pendant toute la durée de l'exploitation du centre, afin d'y intégrer des optimisations.

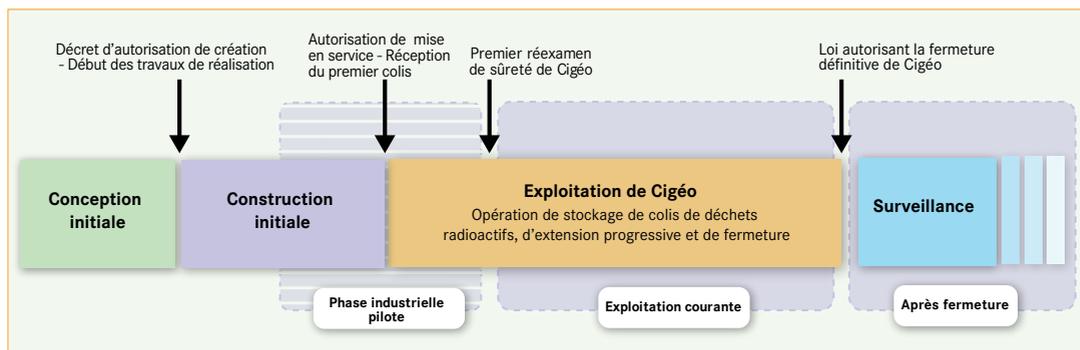
Sous réserve de son autorisation par décret :

■ La **construction initiale de Cigéo** pendant laquelle une première partie (ou « tranche ») de l'installation est réalisée. Elle comporte notamment les bâtiments de surface liés à l'exploitation de l'installation nucléaire de surface, les liaisons surface-fond, ainsi que les ouvrages souterrains permettant de recevoir les premiers colis de déchets ;

■ Après l'obtention de l'autorisation de mise en service de Cigéo (réception du premier colis de déchets radioactifs), une **exploitation** par tranches successives, qui se poursuit pendant une centaine d'années et au cours de laquelle se déroulent simultanément des opérations de réception et de mise en stockage de colis et des travaux d'extension de l'installation souterraine afin de poursuivre la réception des colis de l'inventaire. Sous réserve d'autorisation, des travaux de fermeture partielle (passage aux niveaux III et IV de l'échelle internationale de récupérabilité⁷) sont également réalisés ainsi que des travaux de construction, d'adaptation et de jouvence des bâtiments en surface ;

■ Une **phase industrielle pilote** est prévue au démarrage de l'exploitation de Cigéo avant le passage en exploitation courante. Cette phase industrielle pilote comportera notamment des essais permettant de conforter, en conditions réelles, la capacité à retirer les colis de déchets stockés dans Cigéo ;

■ À l'issue de son exploitation, le démantèlement de Cigéo et sa fermeture définitive que seule une loi peut autoriser. Cigéo entre ensuite dans sa **phase de surveillance**.



7. <https://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2012/7105-reversibilite.pdf>

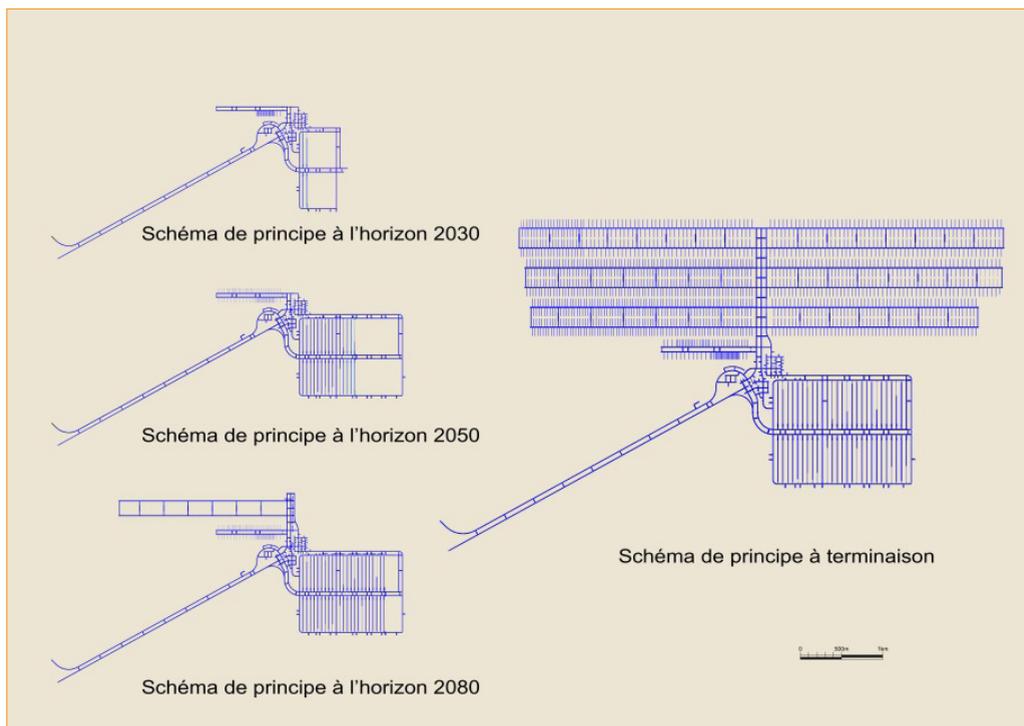


Illustration du développement progressif de l'installation souterraine de Cigéo au cours du temps.

3. Le développement de Cigéo

Pour mener ses recherches sur le stockage profond, l'Andra mobilise la communauté scientifique dans de nombreuses disciplines (sciences de la terre, des matériaux, de l'environnement, de l'instrumentation...). Elle est également fortement impliquée dans des projets internationaux, notamment avec ses homologues étrangers. L'Andra dispose par ailleurs, en propre, du Laboratoire souterrain en Meuse/Haute-Marne, de moyens de calculs numériques et de l'Observatoire pérenne de l'environnement ; outils scientifiques conçus pour répondre aux besoins spécifiques de Cigéo en matière de recherche. Les études menées depuis plus de 20 ans qui ont été évaluées régulièrement par la Commission nationale d'évaluation (CNE), l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et le Conseil scientifique de l'Andra, ont permis de montrer la sûreté et la faisabilité du stockage profond réversible : aujourd'hui Cigéo a atteint le niveau TRL5 (**voir encadré ci-après**).

L'échelle internationale TRL

L'Andra a choisi d'utiliser l'échelle internationale TRL (*Technology Readiness Level*) comme outil indicatif d'appréciation de la progression technique des diverses composantes du projet Cigéo.

L'échelle internationale TRL permet de quantifier le niveau de maturité technologique atteint par un élément (matériel, composant, système...). Elle fait l'objet d'une norme ISO (16290:2013). Développée principalement pour les systèmes spatiaux, elle peut être transposée à d'autres domaines pour évaluer l'état de maturité technique d'un projet ou pour mesurer la progression d'une technologie tout au long de son développement.

L'échelle TRL comporte neuf niveaux. Le niveau le plus bas (niveau 1) correspond à la découverte et à la compréhension, dans le cadre de la recherche académique, d'un phénomène physique présentant des applications potentielles (par exemple, la découverte de la radioactivité par Henri Becquerel en 1896). Le plus haut niveau (niveau 9) est atteint lorsque l'élément est complètement défini par un ensemble de procédés reproductibles incluant sa fabrication, ses tests et son exploitation et qu'il satisfait les exigences de performance qui lui sont assignées dans l'environnement opérationnel réel (par exemple le stockage de déchets radioactifs en surface pratiqué au CSA, le centre de stockage de l'Andra dans l'Aube qui accueille des déchets FMA-VC). L'atteinte du TRL 5 signifie que la faisabilité de l'élément a été démontrée dans un environnement représentatif.

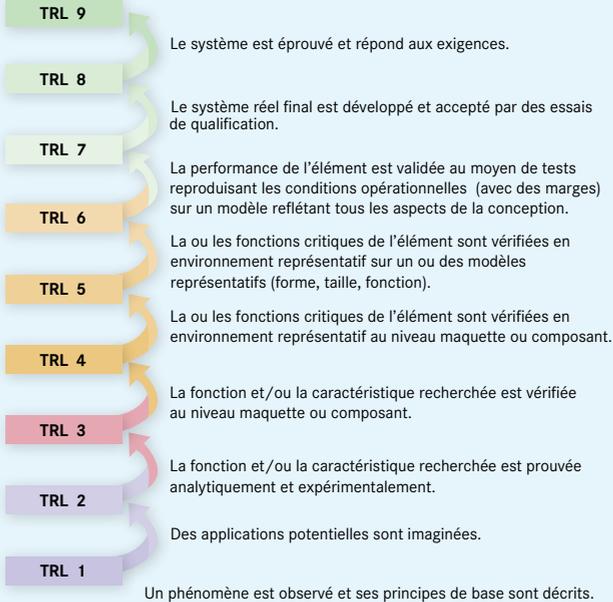
En vue de disposer à terme d'une installation permettant de rendre le service industriel attendu, les étapes de développement à franchir par le projet Cigéo consistent désormais à produire et à tester des éléments (conteneurs, équipements d'exploitation, scellements...) se rapprochant de façon progressive de la conception prévue pour les ouvrages du stockage en termes de taille, de matériaux utilisés, de méthode de réalisation et d'implantation et de conditions opérationnelles de fonctionnement.

Des essais en laboratoire sur des modèles les plus représentatifs possibles de la conception finale permettront dans un premier temps de progresser dans la conception des systèmes et d'appuyer la demande d'autorisation de création (atteinte du TRL6 - **voir encadré ci-dessus**).

Pour les étapes suivantes, compte tenu de la taille des équipements utilisés et des ouvrages à réaliser pour Cigéo (conteneurs de plusieurs tonnes, utilisation d'un funiculaire, galeries et ouvrages de stockage de section décimétrique...), la qualification de modes opératoires de réalisation de Cigéo et la validation des performances des équipements ne pourra pas être réalisée au Laboratoire souterrain. En effet, la section des puits du laboratoire ne permet pas d'y introduire les équipements et d'y réaliser les essais nécessaires pour Cigéo.

CONDITIONS DE FRANCHISSEMENT DES DEGRÉS DE L'ÉCHELLE

Degrés
de l'échelle TRL



C'est donc uniquement au cours de la phase industrielle pilote que pourront être franchies une à une les étapes suivantes du développement des composants de Cigéo (TRL7 et 8) permettant d'aboutir, à terme, à une installation de stockage éprouvée, ayant montré sa capacité à prendre en charge des colis de déchets radioactifs tout en répondant aux exigences de sûreté et de réversibilité (TRL9). Son fonctionnement relèvera alors de l'exploitation courante.

À cela, il convient d'ajouter le développement incrémental du projet Cigéo, notamment pour ce qui concerne les tranches ultérieures à la tranche initiale. En effet, si Cigéo est conçu sur la base des technologies éprouvées actuellement, sa construction par tranches successives, à des échéances de l'ordre de la dizaine d'années, favorise l'intégration des améliorations rendues possibles par les progrès scientifiques et techniques, et par le retour d'expérience de son exploitation. L'exploitant de Cigéo soumettra pour cela des demandes d'évolution de la conception à l'ASN et, sous réserve de leur autorisation, les réalisera dans Cigéo.

4. Pourquoi Cigéo maintenant ?

La poursuite du processus visant, sous réserve d'autorisation, à rendre disponible une installation de stockage profond est, pour notre génération, une exigence éthique aussi forte que celle visant à faciliter les choix des générations suivantes, y compris celui de reconsidérer les décisions antérieures. Dans les deux cas, il s'agit bien de ne pas enfermer ces générations dans nos choix ou non-choix.

En effet, c'est notre génération et la précédente qui ont construit le parc électronucléaire et qui en ont retiré les bénéfices en termes de développement et de mode de vie. Il nous faut donc supporter le coût d'investissement pour la gestion des déchets ainsi produits.

Aujourd'hui, la technologie et les moyens financiers pour réaliser les premières étapes de développement sont disponibles. Le parc électronucléaire est encore en fonctionnement et continuera, à moyen terme, à contribuer au financement des futures tranches d'investissements de Cigéo.

La mise en œuvre progressive de Cigéo et l'engagement du stockage des premiers déchets HA produits (peu thermiques dits « HA0 ») et de l'ensemble des déchets MA-VL permet, d'une part de préparer le stockage des déchets HA les plus thermiques (dits HA1/HA2), d'autre part d'éviter toute rupture temporelle dans la gestion des déchets sur la période d'exploitation de Cigéo (HA « froids » et MA-VL, puis HA1/HA2 « chauds »).

A l'inverse, sur une perspective temporelle plus longue, le maintien des compétences technologiques nécessaires à la réalisation d'une telle installation nucléaire ne peut être garanti, en particulier si les savoir-faire en la matière venaient à diminuer suite à des changements de politique énergétique. Il ne peut pas non plus être garanti que la réalisation serait moins chère à l'avenir, ni que les générations futures trouveront une solution de gestion qui permettra de se passer d'un stockage géologique.

La dynamique lancée en matière d'études depuis des années a amené à conclure que le stockage est la solution technique optimale et à bâtir un projet industriel crédible à proximité du Laboratoire souterrain de l'Andra en Meuse/Haute-Marne. Notre génération a la responsabilité de progresser vers la concrétisation du stockage géologique, tout en mettant en place les outils de gouvernance et de conduite de projet qui garantissent sa réversibilité. C'est l'arrêt de cette dynamique qui limiterait les choix pour notre génération et les suivantes.

Pour l'Andra, l'éthique vis-à-vis des générations suivantes appelle une nécessité d'action. Ne pas concrétiser le projet Cigéo reviendrait en fait à renoncer à fournir aux générations suivantes un moyen « incontournable »⁸ de gestion à long terme des déchets radioactifs produits par notre génération.

8. Selon l'avis de l'ASN du 1^{er} février 2006 : www.ASN.fr/Media/Files/L-avis-de-l-ASN-rendu-au-Gouvernement.pdf

5. La réversibilité et ses outils

La préoccupation éthique de réversibilité trouve son origine dans l'échelle de temps qu'implique la gestion des déchets radioactifs les plus nocifs. Compte tenu, en particulier de la durée d'ordre séculaire prévue pour l'exploitation du stockage géologique, il est de la responsabilité de notre génération de concevoir et de léguer aux générations suivantes une installation sûre, et qu'elles seront en mesure de modifier ou d'améliorer en fonction de leurs propres objectifs et contraintes, voire de la remplacer par d'autres installations de gestion, si d'autres choix venaient à apparaître, notamment en lien avec les progrès techniques. La réversibilité du stockage est donc considérée comme la capacité à offrir à la génération suivante des choix sur la gestion à long terme des déchets radioactifs.

Sûreté après fermeture

L'objectif fondamental d'un stockage de déchets radioactifs, la raison même pour laquelle il est réalisé, est de protéger de façon passive les personnes et l'environnement contre les risques liés à la dissémination des substances radioactives et des toxiques chimiques contenus dans les déchets sur de très longues périodes de temps. Dans cet objectif, il est conçu pour être, à terme, fermé.

En pratique, les opérations de fermeture nécessaires à la mise en sécurité définitive des déchets consistent à démonter des équipements utilisés pour l'exploitation et à construire des ouvrages, complémentaires de la barrière géologique (scelllements), permettant d'assurer le bon fonctionnement du stockage après fermeture. En contrepartie de ces avancées vers un mode de fonctionnement passif de l'installation, chaque opération de fermeture augmente le degré d'effort à mettre en œuvre pour une éventuelle réouverture des alvéoles ou des galeries fermées, ou pour un retrait de colis de déchets.

Sûreté en exploitation

Pendant la durée de son exploitation, y compris pendant ses opérations de fermeture, l'Andra mettra en œuvre, sous réserve de leur autorisation par l'Autorité de sûreté nucléaire, des dispositions de prévention, de détection/surveillance et de protection, actives et passives, en vue de protéger le public, l'environnement et le personnel chargé de l'exploitation, des risques liés aux opérations associées à la mise en stockage des colis de déchets reçus sur Cigéo.

Sûreté et réversibilité

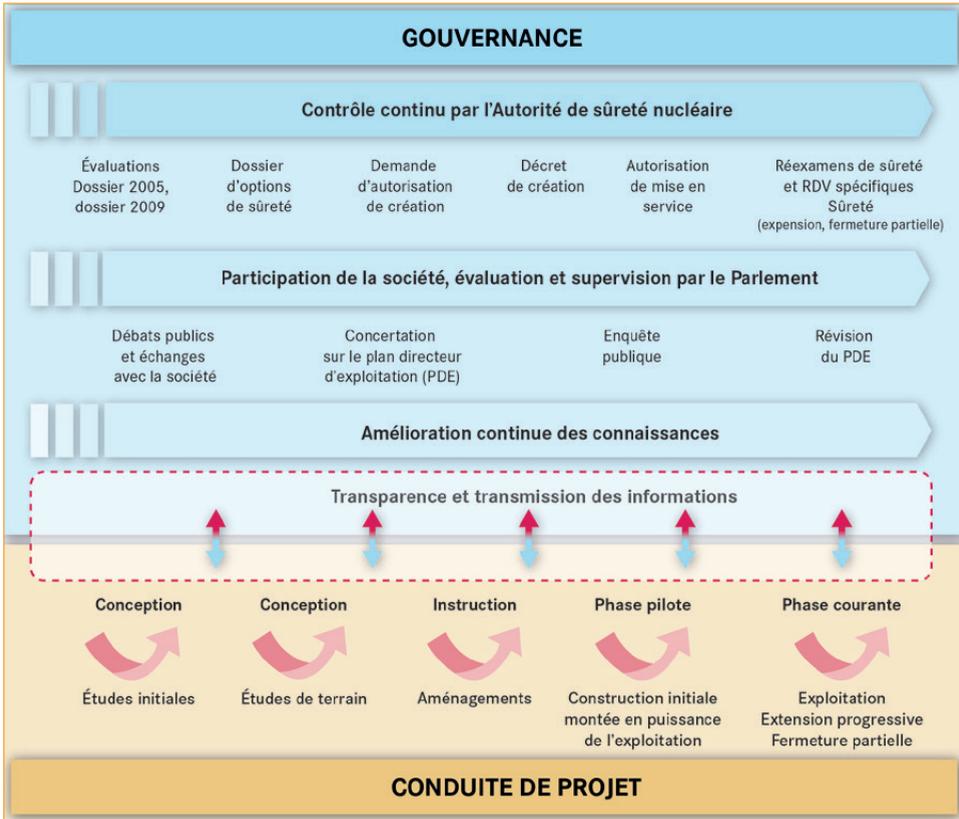
Cigéo est conçu de sorte que les choix offerts aux générations suivantes par la réversibilité puissent être mis en œuvre à des niveaux de sûreté satisfaisants, équivalents à ceux des opérations planifiées par notre génération. Par ailleurs, l'Andra a veillé à ce que les dispositions prises pour la réversibilité ne soient en aucun cas préjudiciables à sa sûreté en exploitation et après fermeture. Au contraire, le développement incrémental du projet favorise l'intégration des améliorations et du retour d'expérience et contribue donc au maintien de l'installation au plus haut niveau de sûreté.

La mise en pratique du principe de réversibilité s'appuie sur des outils de gouvernance et des outils techniques de conduite du projet :

■ **Outils de gouvernance** : amélioration continue des connaissances en matière de gestion des déchets radioactifs, transparence et transmission des informations et des connaissances, contrôle par l'Autorité de sûreté nucléaire, participation de la société, évaluation et supervision par le Parlement.

■ **Outils de conduite du projet** : développement incrémental et progressivité de la construction des installations de Cigéo, flexibilité offerte par leur exploitation, adaptabilité des installations et récupérabilité des colis.

Ces outils contribuent aux prises de décisions concernant la gestion des déchets radioactifs. Ils permettent notamment de conserver ou d'ouvrir au cours du temps les différents choix possibles.



Ces outils et le rôle qu'ils pourraient jouer dans les futures décisions et leur impact sur le projet Cigéo sont présentés sous forme synthétique dans le tableau ci-après.

Comme premier support concret à la réversibilité, notamment pour faciliter la participation de la société et dans le cadre de la transparence et de la transmission des informations et des connaissances, l'Andra produit début 2016 une proposition de plan directeur d'exploitation (PDE) qui décrit le déroulement de référence du projet Cigéo (inventaire de dimensionnement du projet, dates prévisionnelles de construction, jalons de fermeture), les conditions de démarrage de son exploitation (phase industrielle pilote) et des modifications possibles dans le cadre de l'exercice de la réversibilité. Cette proposition de plan directeur sera soumise à concertation. Le déroulement de référence pourra être revu périodiquement pour intégrer les décisions prises durant toute l'exploitation de Cigéo.

Le PDE est ainsi un support au dialogue et à la co-élaboration de la gouvernance collective de la réversibilité.

	OUTILS DE LA RÉVERSIBILITÉ	RÔLES POSSIBLES DANS LA RÉVERSIBILITÉ DES DÉCISIONS	EXEMPLES DE MISES EN ŒUVRE OPÉRATIONNELLES DANS CIGÉO
Gouvernance	<p>Amélioration continue des connaissances</p> <p>Ensemble organisé d'actions et de travaux visant à l'accroissement de la somme des connaissances sur les déchets radioactifs et sur leurs modes de gestion, ainsi qu'à l'utilisation de cette somme de connaissances pour l'amélioration de leur gestion</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Faire apparaître des choix nouveaux en matière de gestion des déchets radioactifs différents ou complémentaires du stockage (par exemple : transmutation) • Améliorer la gestion des déchets sur les sites de production (par exemple : développer de nouveaux modes de conditionnement ou réduire la quantité de déchets produite) • Améliorer Cigéo pour une plus grande efficacité (par exemple : améliorer la performance des équipements ou la taille des ouvrages) • Réévaluer périodiquement la longévité prévisionnelle de l'installation • Exploiter le retour d'expérience du fonctionnement du stockage 	<ul style="list-style-type: none"> • Réalisation dans l'installation Cigéo d'essais et de mesures spécifiques pendant et au-delà de la phase industrielle pilote : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Programmes d'études spécifiques réalisés dans des démonstrateurs et des ouvrages témoins (alvéole ou composant) ✓ Zone de l'installation souterraine dédiée à la réalisation d'essais • Valorisation des données issues de la surveillance • Etablissement et publication périodiques des bilans des connaissances relatives à Cigéo
	Conduite du projet	<p>Développement incrémental et progressivité de la construction</p> <p>Caractère continu, régulier et prudent de l'enchaînement des opérations de réalisation de l'installation de stockage sur toute la durée de son exploitation</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Intégrer à la conception de Cigéo, par phases successives, les apprentissages issus de l'amélioration continue des connaissances • Temporiser ou accélérer la construction de Cigéo
<p>Flexibilité de l'exploitation</p> <p>Capacité de l'installation à s'adapter à des variations du programme industriel (chronique de réception, flux de réception, date de fermeture partielle)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Modifier les flux et les chroniques de réception et de mise en stockage des colis • Modifier les dates de fermeture partielle de l'installation souterraine 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilité d'une marge opérationnelle dans l'exploitation de Cigéo permettant d'augmenter plus ou moins durablement l'utilisation des équipements (par exemple passage d'une exploitation en 2 x 8 à une exploitation en 3 x 8 (24h/24) ou 5 x 8 (24h/24, 7j/7))

OUTILS DE LA RÉVERSIBILITÉ**RÔLES POSSIBLES DANS LA RÉVERSIBILITÉ DES DÉCISIONS****EXEMPLES DE MISES EN ŒUVRE OPÉRATIONNELLES DANS CIGÉO****Conduite du projet**

sans modification des infrastructures ou des équipements existants et sans construction d'ouvrages nouveaux

- Recevoir des déchets conditionnés par de nouveaux modes de conditionnement

- Conception de l'installation (dimensionnement et architecture des ouvrages souterrains, circulation des flux) permettant d'organiser les chantiers de fermeture partielle de l'installation souterraine (fermeture des alvéoles et galeries) tôt après leur remplissage ou à des dates pouvant aller jusqu'à la fin de l'exploitation du stockage
- Conception des conteneurs, des ouvrages et des procédés permettant de les affecter facilement à la réception des différents types de colis (par exemple la standardisation des moyens de manutention)
- Co-stockage de colis de déchets (MA-VL)
- Comportement robuste des conteneurs permettant de s'adapter au calendrier de fermeture retenu

Adaptabilité des installations

Capacité à modifier l'installation pour l'adapter à de nouvelles hypothèses de dimensionnement (par exemple des évolutions d'inventaire) impliquant des modifications notables des équipements existants ou des constructions d'ouvrages nouveaux

- Prendre en charge des déchets non prévus dans l'inventaire initial en lien avec l'évolution de la politique énergétique ou avec des évolutions de la gestion des déchets radioactifs
- Modifier l'installation pour augmenter ses performances, par exemple pour augmenter les flux de réception ou de réexpédition des colis

- Diamètre des liaisons jour-fond compatible avec l'éventuel stockage de combustibles usés
- Marges d'emprise conservées en surface pour la construction de bâtiments offrant des fonctions supplémentaires
- Positionnement et dimensions du stockage dans la ZIRA (zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie) préservant des volumes de roche pour une éventuelle extension (par exemple pour la construction d'alvéoles de stockage supplémentaires)

Récupérabilité

Capacité à retirer des colis de déchets stockés en formation géologique profonde

- Offrir de la souplesse dans l'exploitation du stockage
- Revenir sur le choix d'un mode de conditionnement d'un déchet (modification du conditionnement) avant retour en stockage
- Voire, reconsidérer le choix du stockage géologique comme mode de gestion de tout ou partie des déchets pendant l'exploitation du stockage

- Durabilité des colis de stockage garantissant leur capacité à être manutentionnés
- Durabilité des ouvrages garantissant la préservation des jeux fonctionnels
- Opérations de retrait réalisées sans préjudice pour la sûreté (par exemple : au moyen d'équipements de manutention équivalents à ceux utilisés pour la mise en place)
- Aptitude à la déconstruction des composants de fermeture partielle (alvéole et galerie) et au rééquipement de l'installation (les remblais et les scellements pourront être démantelés). Des essais de déconstruction de ces composants seront menés dans Cigéo préalablement à l'engagement des premiers travaux de fermeture partielle

OUTILS DE LA RÉVERSIBILITÉ	RÔLES POSSIBLES DANS LA RÉVERSIBILITÉ DES DÉCISIONS	EXEMPLES DE MISES EN ŒUVRE OPÉRATIONNELLES DANS CIGÉO
<p>Transparence et transmission des informations et des connaissances</p> <p>Ensemble d'actions visant à rendre accessible les données relatives à l'installation, aux opérations qui y sont réalisées et les éléments ayant justifié les décisions prises pour son développement</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Instruire les futures décisions sur la base d'une connaissance précise de l'installation et des éléments ayant conduit aux décisions précédentes • Organiser la mémoire du stockage et sa transmission 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place d'une démarche de traçabilité des décisions antérieures et de leurs justifications • Maîtrise de la configuration de l'installation • Mise en place de modalités spécifiques d'archivage des informations des données permettant leur conservation le plus longtemps possible • Transmission aux parties intéressées de données relatives aux coûts, à la sécurité, aux déchets stockés et aux activités menées (construction, évolutions...) • Echanges réguliers avec le CLIS et/ou la CLI
<p>Participation de la société, évaluation et supervision par le Parlement</p> <p>Ensemble de moyens, dispositifs et processus qui garantissent aux parties intéressées de contribuer aux décisions prises pour le développement du stockage</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Informer les acteurs sur les enjeux liés au stockage géologique et à la gestion des déchets radioactifs • Légitimer les décisions prises relatives à la gestion des déchets radioactifs, y compris les conséquences socio-économiques locales et nationales 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluation continue par la Commission nationale d'évaluation • Production d'une proposition de plan directeur d'exploitation (PDE) présentant le déroulement de référence du projet Cigéo (calendriers de construction et de fermeture de Cigéo), les objectifs de la phase industrielle pilote et les principaux enjeux de la réversibilité • Implication des parties intéressées à l'élaboration du Plan directeur d'exploitation (PDE) de Cigéo soumis à l'Etat • Implication des parties intéressées à l'élaboration des révisions périodiques du PDE • Implication des parties intéressées locales dans le développement du territoire et son suivi
<p>Contrôle par l'Autorité de sûreté nucléaire</p> <p>Ensemble d'actions visant à vérifier le respect des règles, des prescriptions, des engagements et des missions de l'exploitant du stockage</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Autoriser des modes de gestion sûrs des déchets, en exploitation et à long terme • Informer sur les conditions de sûreté des installations • Evaluer l'état des connaissances relatives à la gestion des déchets radioactifs 	<ul style="list-style-type: none"> • Expertise du projet par les évaluateurs techniques (IRSN, Groupes permanents d'experts...) • Revues périodiques de la sûreté de Cigéo (réexamens de sûreté) • Jalons de sûreté : grandes décisions d'extension (HA1/HA2), démonstrations de sûreté pour intégrer les optimisations et les innovations • Suivi en continu de l'exploitation de Cigéo (inspections) • Processus d'autorisation incrémental permettant de développer Cigéo et d'élargir son domaine de fonctionnement de façon progressive • Suivi en continu des avancées en matière de programme d'études de l'Andra sur Cigéo • Elaboration et suivi du cadre défini dans le décret d'autorisation de création



ANNEXES

Loi fixant les conditions de réversibilité du stockage.

2012



Présentation des esquisses du stockage, baptisé Cigéo.
Élaboration d'un schéma interdépartemental de développement du territoire par l'État.

2013



Débat public sur le projet Cigéo, organisé par la Commission nationale du débat public.

2015-2016

Finalisation de l'avant-projet sommaire
Dossiers techniques :

- Options de sûreté en exploitation et après fermeture.
- Options techniques de récupérabilité.

Plan directeur pour l'exploitation

À partir de 2017



Finalisation de l'avant-projet
puis **dépôt de demande d'autorisation de création.**

Instruction d'autorisation et enquête

2011



Parution du décret autorisant l'Andra à poursuivre ses activités dans le Laboratoire souterrain jusqu'en 2030.

2009



Proposition par l'Andra, validée par le Gouvernement, d'une zone de 30 km² (zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie, « ZIRA »), pour mener les études pour l'implantation de l'installation souterraine du stockage.



1991



Vote de la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991, dite loi « **Bataille** », relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs.

1994



Campagnes de reconnaissances géologiques sur 4 sites validés par le Gouvernement pour la construction de laboratoires souterrains en vue d'étudier la faisabilité d'un stockage profond.

1998



Le site de M. Haute-Marn par le Gouver pour l'implan d'un laborat



LOI ou
DÉCRET



LABORATOIRE
SOUTERRAIN



DÉBAT
PUBLIC

Si Cigéo est autorisé...

2020



Décret
d'autorisation
de création

Début des travaux
de construction
des installations
de Cigéo
(hors travaux
préparatoires).



2025



Démarrage de
l'installation par
une phase
industrielle pilote
et des essais en
inactif.

2030

Poursuite de la phase
industrielle pilote avec
des colis de déchets
radioactifs à stocker
dans Cigéo, après auto-
risation de mise en
service par l'ASN

2007

Mise en place de l'Observatoire
pérenne de l'environnement
qui vise à décrire l'environnement
du stockage avant sa construction
et à suivre son évolution pendant
toute la durée d'exploitation
du Centre, si celui-ci est autorisé.



2006



Les études
se poursuivent
au sein du Laboratoire
souterrain pour
affiner la conception
du stockage.

2006



Débat au Parlement puis vote
de la loi de programme n°2006-739
du 28 juin 2006 qui retient le stockage
réversible profond comme solution de
référence pour la gestion à long terme pour
les déchets HA et MA-VL.

Débat public
sur la gestion des déchets
radioactifs organisé
par la Commission nationale
du débat public.



2005

Remise du Dossier 2005 au Gouvernement
dans lequel l'Andra conclut à la faisabilité et à la
sûreté du stockage profond dans un périmètre
de 250 km² autour du Laboratoire souterrain.
Évaluation et validation du dossier
par la CNE¹, l'ASN², l'OPECST³
et un groupe international
d'experts.



2000



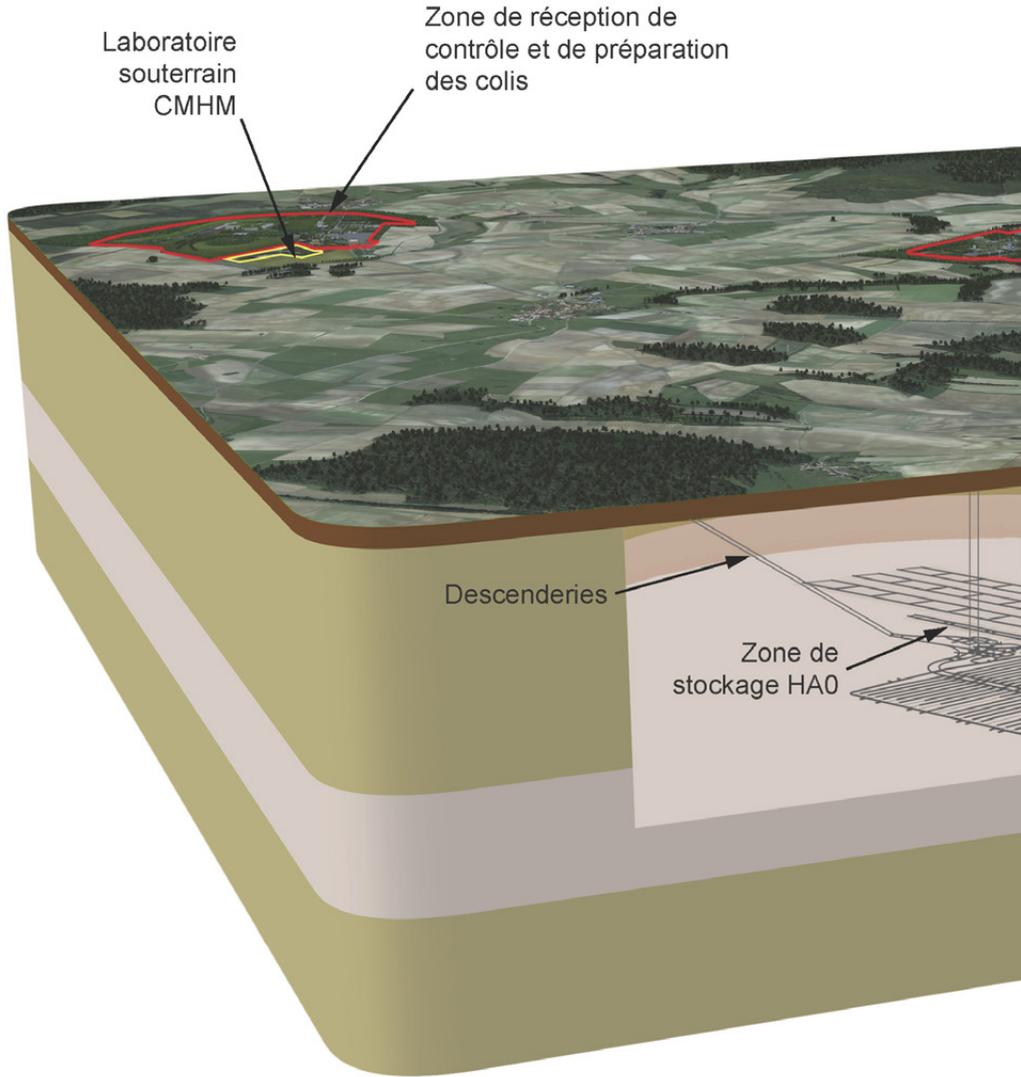
Début de la
construction du
Laboratoire souterrain
de Meuse/Haute-Marne

¹ Commission nationale d'évaluation

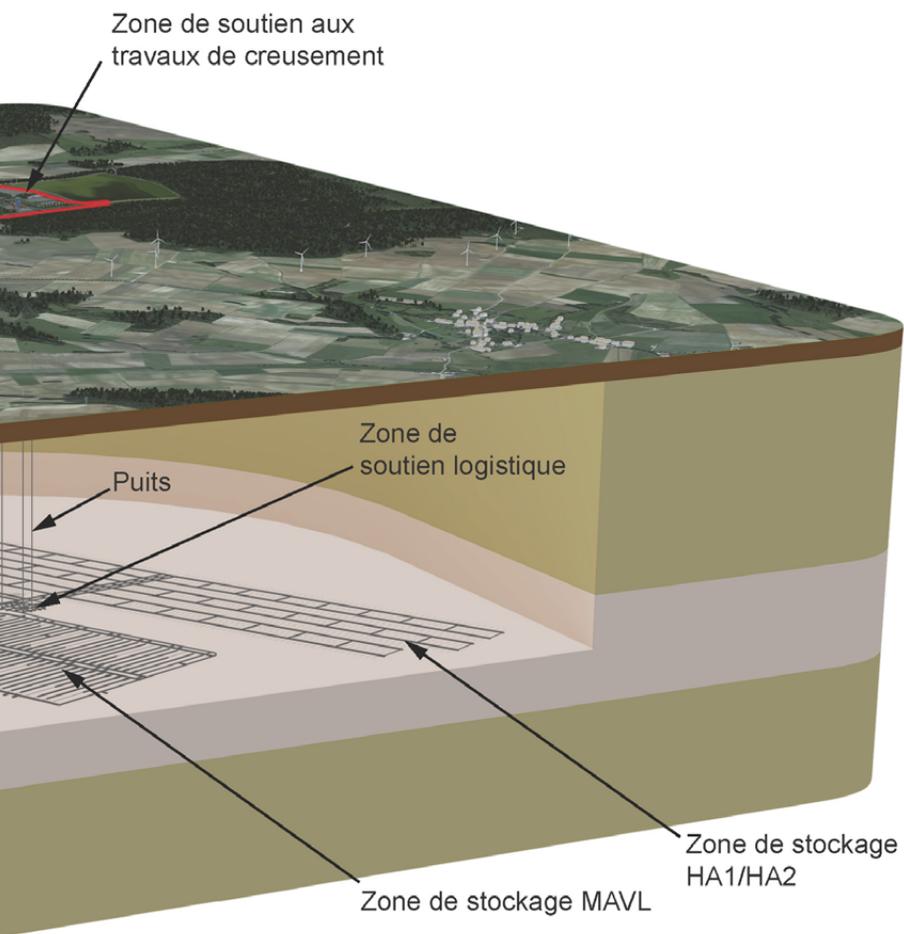
² Autorité de sûreté nucléaire

³ Office parlementaire d'évaluation des
choix scientifiques et technologiques

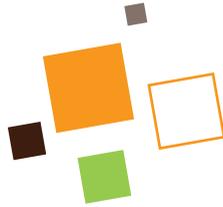
Bloc diagram



amme 3D Cigéo



Echelle des ouvrages non respectée.
Pendage des formations géologiques non représenté.



www.cigéo.com

Le site de référence pour s'informer
sur le projet de Centre de stockage profond
de déchets radioactifs français



AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION
DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
Tél. : 01 46 11 80 00

www.andra.fr