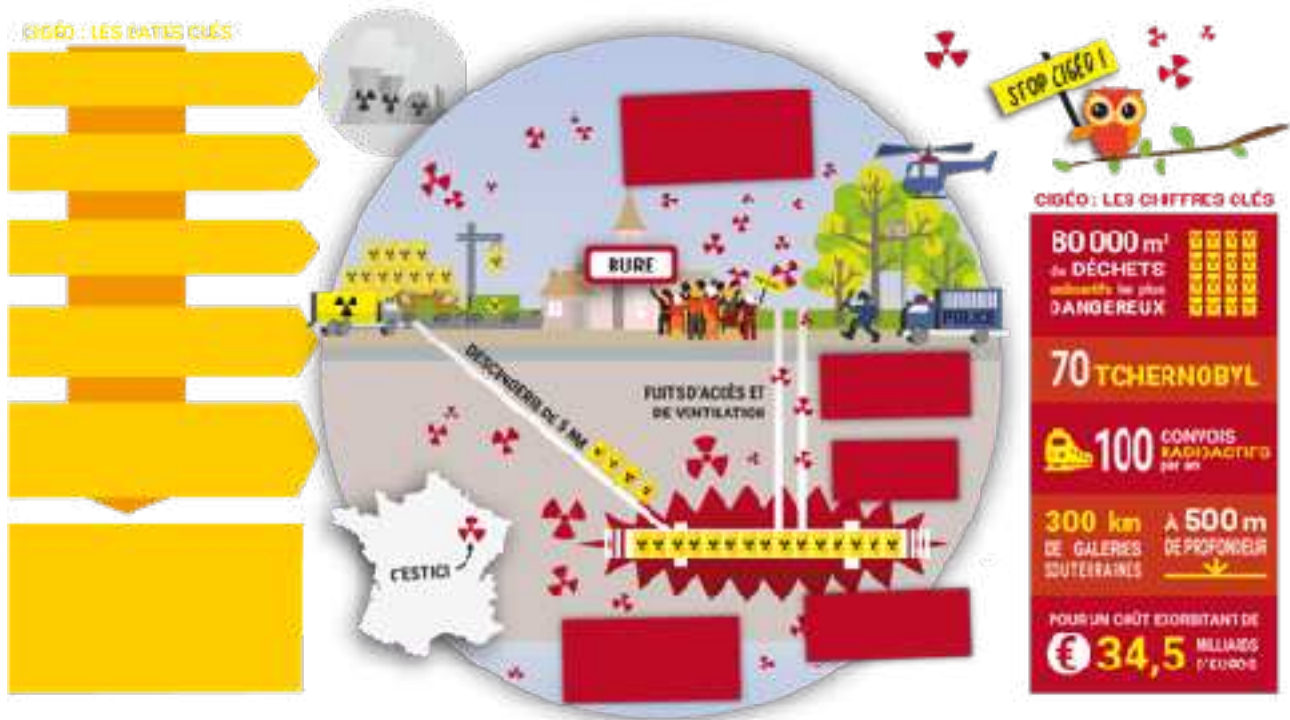


Quels coûts réels du projet Cigéo à Bure ? Par Hugues HENRI



Cigéo

Contexte

Le coût réel du projet CIGEO (d'enfouissement des déchets hautement radioactifs à vie longue) explose, et atteint déjà 37,5 milliards d'€, et relance le débat sur la gestion des déchets nucléaires en France, après la décision unilatérale d'Emmanuel Macron, de relancer le nucléaire par la construction de 6 EPR-2 déjà actée et de 8 autres d'ici à 2045.

CIGEO?

C'est l'acronyme de centre industriel de stockage géologique. C'est un projet français de centre de stockage des déchets radioactifs en

couche géologique profonde, aussi appelé enfouissement des déchets nucléaires hautement radioactifs à vie longue. Il est conçu pour enfouir (stocker) les déchets radioactifs de haute activité et à vie longue produits par l'ensemble des installations nucléaires françaises, jusqu'à leur démantèlement, et par le traitement des combustibles usés utilisés dans les centrales nucléaires.

Après plus de vingt ans de recherche, menées pour l'essentiel au laboratoire de Bure, le projet Cigéo prévoit d'implanter ce site quelques kilomètres plus au nord, à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne, aux confins des communes de Ribeaucourt, Bure, Mandres-en-Barrois, et Bonnet, dans le bassin-versant de la Seine, à la limite de celui de la Meuse.

Stockage radioactif par enfouissement

Le principe du stockage ou enfouissement profond est retenu par la loi française en 2006. Après une procédure de débat public ayant lieu courant 2013, la commission conclut qu'il n'y a pas d'urgence pour lancer l'enfouissement des déchets nucléaires et il faut revoir le calendrier.

La loi définit en parallèle des voies alternatives : l'entreposage de longue durée des déchets radioactifs, en attendant le stockage définitif ; ou la séparation-transmutation des déchets nucléaires en radioéléments de plus faible activité ou à vie plus courte.

Le coût du projet, dont l'estimation est encore incertaine, varie entre 15 et 36 milliards d'euros. Les modalités de son financement, théoriquement dévolu aux entreprises productrices de déchets, reposent partiellement sur le budget de l'État. L'acceptabilité sociale est l'un des paramètres majeurs de ce projet, un milliard d'euros a déjà été dépensé à cet effet.

Afin d'accompagner l'installation du projet, deux groupements d'intérêt public (GIP) départementaux ont été créés. Le GIP Haute-Marne est présidé par Nicolas Lacroix, président du conseil départemental de Haute-Marne et le GIP Meuse par Jérôme Dumont, président de celui de la Meuse.

Depuis 1996, le projet suscite des controverses concernant le principe d'enfouissement en grande profondeur, le financement, la

réversibilité du processus, les incertitudes sur la capacité à garantir l'imperméabilité du site sur une durée de 100 000 ans, la volumétrie à traiter et sur le caractère illusoire du débat qui a été refusé jusqu'alors.



Maquettes de
conteneurs standards
pour déchets à haute activité
et moyenne activité à vie longue.

Quels sont les déchets radioactifs produits par les centrales nucléaires ?

L'exploitation des centrales nucléaires génère des produits de fission, généralement de très haute activité dont la durée de vie se compte en dizaines de milliers d'années, dont l'essentiel est jusqu'à présent immergé dans les piscines saturées de refroidissement de l'usine ORANO de La Hague, dans la presqu'île du Cotentin.

S'y adjoignent des actinides, moins radioactifs mais dont la durée de vie peut se compter en millions d'années, tel que le neptunium 237 qui présente une demi-vie (ou période) de 2,1 millions d'années, des produits de fission de moindre activité comme l'iode 129 (période de 16 millions d'années), et des produits d'activation comme le chlore 36 (période de 300 000 ans). Ces éléments sont des déchets nucléaires non-réutilisables. Dans le traitement du combustible nucléaire usé, ils sont séparés de l'uranium et du plutonium, potentiellement réutilisables, pour fabrication du MOX utilisé dans des réacteurs nucléaires spéciaux

La stratégie de gestion de ces déchets radioactifs HAVL (soit donc les produits de fission PF et les actinides mineurs AMin) consiste à les isoler dans des lieux inaccessibles à l'homme le temps nécessaire à la décroissance de leur radiotoxicité, l'enjeu principal pour le long terme résidant dans la capacité de l'installation à contenir suffisamment

longtemps les radionucléides au moyen des différentes barrières interposées entre les déchets et les écosystèmes de surface.

L'espoir ultime de l'industrie nucléaire serait de parvenir à la transmutation de ces déchets par la réduction massive de leur radioactivité létale afin de les rendre inoffensifs et neutres, comme rêvaient les alchimistes du Moyen Âge par la transmutation du plomb en or, visée complètement inaccessible et irrationnelle dans les deux cas.

L'option de l'enfouissement en grande profondeur

Une des options actuellement retenues en France pour réaliser cet isolement consiste à les stocker en profondeur (300 à 500 m) dans des galeries creusées dans une couche géologique stable, dense et le plus possible étanche (le granit, le tuff volcanique, ou l'argile comme cela est envisagé en France). La dangerosité de ces déchets radioactifs diminuera au fil du temps du fait de la décroissance naturelle de la radioactivité qu'ils contiennent : le rayonnement d'une grande partie de ces déchets de haute activité sera ainsi divisé par mille environ dans (cent) mille ans.

Les dangers de l'irradiation sont encore mal cartographiés pour des faibles doses d'irradiation, mais selon des autorités internationales en radioprotection (UNSCEAR, CIPR), l'effet est en tout état de cause négligeable pour des irradiations de l'ordre de grandeur de la radioactivité naturelle ambiante (lesquelles sont de l'ordre du micro-Sievert par heure, ou 5 mSv/an). A contrario, pour l'IRSN, « *l'impact radiologique sur l'homme et les écosystèmes devra également être évalué à court comme à très long terme* ».

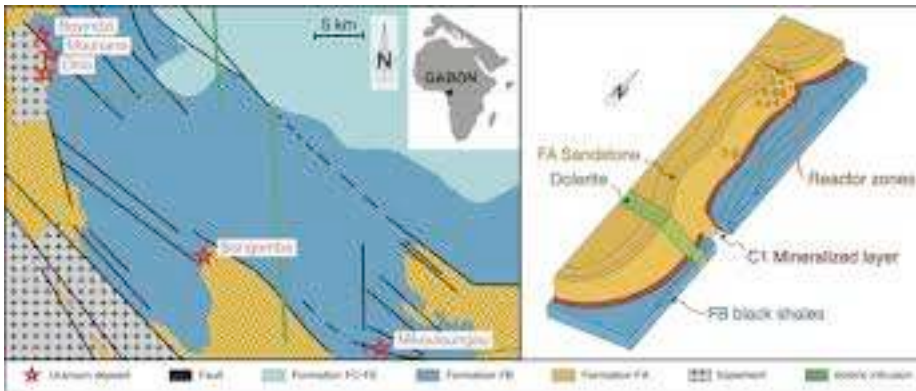
Le stockage souterrain permet le confinement à très long terme de la radioactivité : la circulation d'eau étant très faible en milieu imperméable, seuls certains radionucléides mobiles pourront théoriquement migrer après plusieurs dizaines de milliers d'années, puis potentiellement atteindre la surface en quantités extrêmement faibles.

Vitrification des déchets pour les fixer ?

Deux thèses de doctorat récentes sur des verres archéologiques et des obsidiennes estiment que le procédé de vitrification utilisé pour fixer les déchets HAVL devrait être capable à lui seul d'assurer le

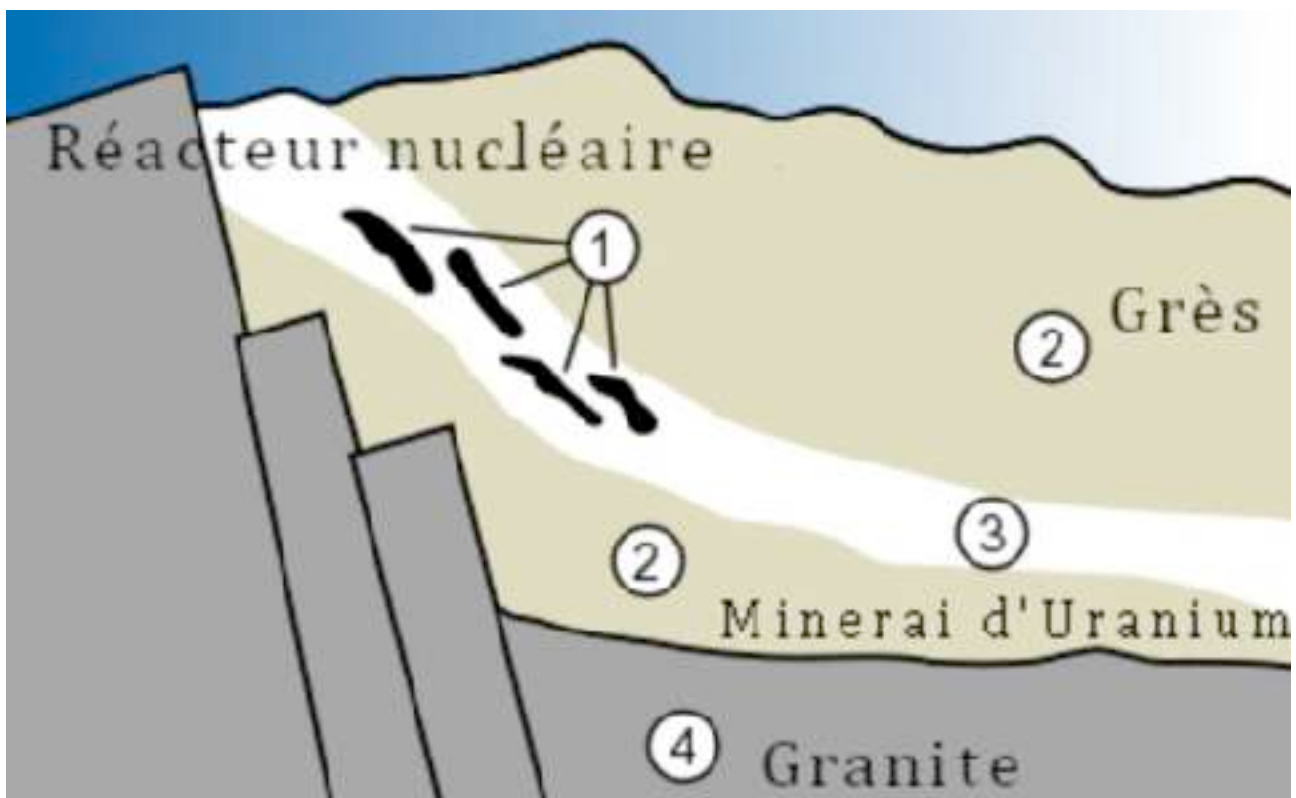
confinement des matières durant 10 000 ans. Néanmoins, pour l'évaluation des performances du stockage profond, les modèles de migrations des corps radioactifs ne font pas intervenir ce confinement *artificiel* (les conteneurs), seule la roche naturelle est considérée.

L'exemple du réacteur nucléaire naturel d'Oklo au Gabon



Les réacteurs nucléaires naturels d'Oklo sont des réacteurs nucléaires naturels qui ont fonctionné il y a environ deux milliards d'années, où les

produits de fission non volatils n'ont bougé que de quelques centimètres en près de deux milliards d'années, a été utilisé dans les travaux préparatoires à Yucca Mountain pour montrer que ce confinement est possible.



Comparaison entre réacteur nucléaire naturel et actuel artificiel ?

On s'aperçut d'une manière fortuite dans les années 1970 qu'un gisement d'uranium du GABON, exploité pour sa teneur en uranium particulièrement riche, avait fonctionné comme un réacteur nucléaire il y a deux milliards d'années. Des clients soviétiques s'étant plaints d'une livraison de minerai appauvri en uranium-235, la qualité des livraisons et l'honneur du Commissariat à l'Énergie Atomique étaient en jeu. Des spécialistes furent envoyés sur le site. On se rendit compte de variations importantes des teneurs isotopiques d'un endroit à l'autre du gisement. Des variations surprenantes, car la teneur d'un isotope est sur terre en principe, indépendante du minerai.

En raison de sa période radioactive six fois plus courte que celle de l'uranium- 238 Imajoritaire, la concentration de l'uranium-235 a diminué avec le temps. Il y a deux milliards d'années, un minerai d'uranium contenait environ 3,5 % d'isotope 235, c'est-à-dire une concentration voisine de celle du combustible enrichi d'un réacteur nucléaire moderne, si bien que le gisement d'uranium d'Oklo au Gabon a pu fonctionner comme un réacteur moyennant un environnement favorable. De l'eau a joué le rôle de modérateur.

Ces réacteurs naturels – dont plusieurs ont fonctionné sur le site – ne sauraient être comparés à leurs homologues construits par l'homme qui tournent à pleine puissance pendant quelques décennies. À Oklo, les réactions de fission en chaîne se sont produites au ralenti pendant près de 100 000 ans, comme un feu qui couve. Les zones où ces réactions se sont produites sont restées confinées sur plusieurs centaines de mètres de profondeur dans une région qui n'a connu aucun bouleversement géologique important en deux milliards d'années.

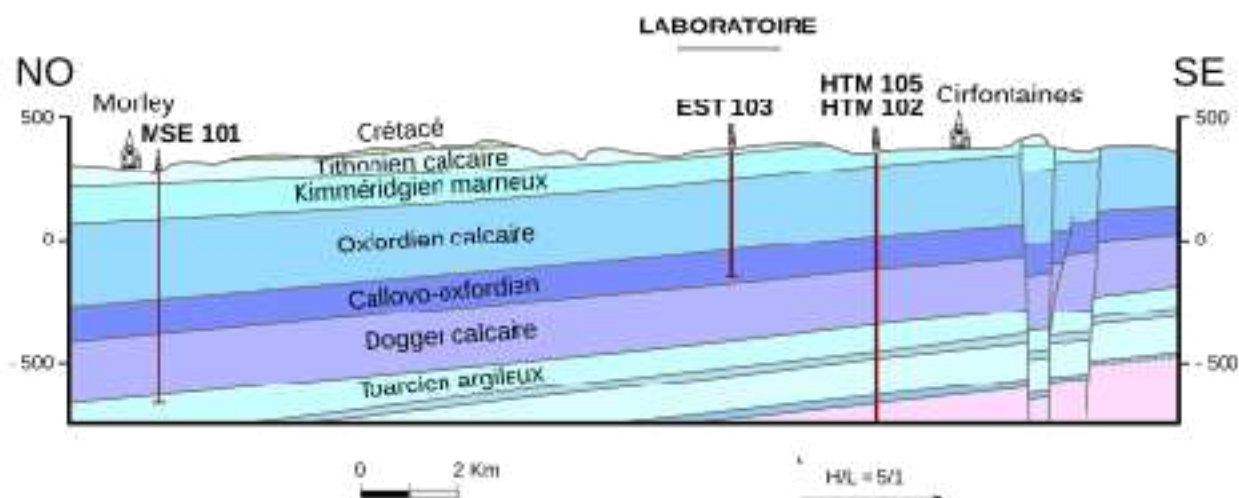
Le site d'Oklo offre un exemple unique de stockage naturel des résidus d'un cœur de réacteur. Des analyses fines montrent la présence dans les filons de traces fossiles de déchets radioactifs restés sur place et un minerai d'uranium appauvri en uranium-235.

Il est possible d'étudier les migrations d'éléments radioactifs dans le sous-sol sur une très longue période ainsi que leur confinement. A Oklo, les éléments radioactifs n'ont eu que quelques centimètres de déplacement dans la plupart des cas, quelques mètres au plus.

Relativisation des projections de l'Andra

Selon un chercheur ayant soutenu en 2017 une thèse d'histoire des sciences à l'EHESS, l'Andra a dû peu à peu renoncer à produire une preuve formelle de la sécurité absolue du stockage sur le modèle d'une démonstration mathématique et table désormais plutôt sur un « faisceau d'arguments » montrant que l'évolution de Cigéo est maîtrisée à très long terme.

Étude de l'argile du Callovo-Oxfordien



Coupe géologique du site de Bure.

La zone proposée par l'Andra pour le projet d'implantation du centre de stockage Cigéo est située dans l'est de la France, à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne.

Les performances de sûreté à long terme d'un tel centre de stockage sont, entre autres facteurs, dépendantes des caractéristiques de la roche hôte. La couche géologique retenue pour le stockage est celle du « Callovo-Oxfordien ». Il s'agit d'une couche de roche argileuse, vieille d'environ 160 millions d'années, située à environ 500 m de profondeur dans l'est du bassin parisien (entre 420 et 555 mètres de profondeur sur le site du laboratoire).

Les argilites (mélange d'argile et de quartz) du Callovo-Oxfordien (époque du Jurassique) possèdent *a priori* des caractéristiques physico-chimiques qui tendent à limiter la migration des radionucléides. La

couche d'argile, de plus de 130 m d'épaisseur et à 500 m de profondeur, a révélé d'excellentes qualités de confinement : stable depuis 100 millions d'années au moins, homogène sur plusieurs centaines de km², le milieu est très peu perméable et s'oppose donc à la circulation de l'eau (principale cause de la dégradation des colis et de la dissémination des radioéléments), et l'argile a une capacité de rétention (capacité de sorption des éléments radioactifs) élevée.

Pour les situations d'exploitation du stockage, l'Andra vise une dose maximale admissible de 0,25 mSv/an pour le public et 5 mSv/an pour les travailleurs exposés, soit le quart de ce que demande la réglementation actuelle. Pour le long terme, l'objectif fixé à l'Andra est que la dose engagée à l'exutoire doit rester inférieure à 0,25 mSv/an pour le groupe de référence le plus exposé. Les modélisations estiment que la dose à l'exutoire serait au maximum de 0,000 8 mSv/an au bout de 500 000 ans (dominées par l'iode-129 et le chlore-36, tous deux solubles) ; tout en restant largement sous l'objectif elle serait plus élevée (0,02 mSv/an) dans l'hypothèse d'un stockage des combustibles usés CU1 et CU2 d'EdF.

L'objet du laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne était donc l'étude de la couche d'argilite, en vue de déterminer si ses caractéristiques sont cohérentes avec les objectifs de sûreté d'un centre de stockage implanté au sein de la zone de transposition.

Les travaux de l'Andra ont permis de mettre en évidence que les propriétés des argilites du Callovo-Oxfordien réduisaient fortement la mobilité des actinides mineurs et ainsi le flux d'activité associé sortant de la formation hôte en les confinant dans le champ proche. L'Autorité de sûreté nucléaire souligne toutefois la nécessité de prendre en compte « les incertitudes résiduelles » sur l'homogénéité de la couche géologique d'argile, incertitudes qu'invoque l'association France Nature Environnement pour justifier son opposition au projet.

Réserves justifiées sur l'étanchéité durable du site

Des études scientifiques ont démontré la présence d'une nappe phréatique (importante pour l'approvisionnement en eau de la région Champagne/Ardennes/Lorraine) qui se trouve sous cette couche d'argilite et de l'eau pourrait remonter par capillarité et contaminer le site d'enfouissement. Cette menace a été mise en évidence par les

opposants à ce projet Cigeo, mais a été délibérément ignorée par l'Andra.

Estimation initiale révisée du coût du projet Cigeo

Le projet Cigéo d'enfouissement des déchets nucléaires les plus radioactifs à Bure, dans la Meuse pourrait coûter au total entre 26,1 et 37,5 milliards au lieu des 25 milliards jusqu'ici envisagés, selon la nouvelle évaluation de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) qui doit désormais être arbitrée par le gouvernement.

Lancé en 1991, le projet Cigéo, contesté par des écologistes et des associations locales, doit accueillir à 500 mètres sous terre des déchets des centrales nucléaires devant rester hautement radioactifs pendant plusieurs centaines de milliers d'années. Au total, 83.000 m³ sont attendus, dont la moitié ont déjà été produits.

La mise à jour de l'évaluation représente, selon les hypothèses, une hausse de 4,4% à 50% par rapport au coût arrêté en 2016 par la ministre de l'Écologie et de l'Énergie d'alors Ségolène Royal.

Coup réel du projet CIGEO

Le ministre de l'énergie devait fixer un arrêt d'ici 2025 sur les dépenses du projet. Cela équivaut à 25 milliards d'euros aux conditions économiques de fin 2011. À l'époque, des organisations environnementales avaient dénoncé avec raison « *un montant largement sous-estimé* ».

« *Il s'agit d'un coût globalement maîtrisé, très proche du précédent chiffrage de l'Andra en 2014 soit 33.8 milliards* », a assuré auprès de l'AFP, Gaëlle Saquet, directrice générale par intérim de l'ANDRA, l'établissement public qui pilote le projet. En ajoutant l'inflation, la facture grimperait entre 32.8 et 45.3 milliards d'euros (+21% pour l'estimation maximale et +26% pour l'estimation minimale).

Le dernier mot reviendra au ministre de l'Énergie qui devra fixer par arrêté d'ici fin 2025 le nouveau coût faisant référence jusqu'à réévaluation, après avoir recueilli l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) et les observations des principaux producteurs de déchets. En l'occurrence, EDF, ORANO et le CEA qui

financent le projet à travers des provisions selon le principe du "pollueur-payeur".

L'Andra a déposé en janvier 2023 sa demande d'autorisation de création du projet, en cours d'instruction par l'ASNR, pour une décision attendue fin 2027/début 2028.

Plusieurs inconnues à prendre en compte

Les "colis" de matières radioactives seront progressivement stockés dans près d'un millier d'alvéoles à partir de 2050, un processus qui prendra environ 95 ans, avant la fermeture du site envisagée "à l'horizon 2170".

Ce nouveau chiffrage couvre donc l'ensemble des coûts sur "une période de plus de 150 ans", de la construction (7.9 à 9.6 milliards d'euros) à la fermeture du stockage, en passant par la maintenance, la sécurité, les assurances et les impôts et taxes. Il est établi sur la base du "calendrier prévisionnel actualisé" qui tient compte notamment "du temps supplémentaire qui a été nécessaire pour la réalisation des études d'avant-projet détaillé" et de retours d'expérience "en matière de travaux souterrains".

Mais au regard de la complexité du projet, hors norme par sa durée, "on ne s'est pas arrêté à un seul chiffre", souligne Gaëlle Saquet. Le chiffrage présente ainsi une configuration au stade de la demande d'autorisation (29.8 à 37.5 milliards) et trois autres configurations traduisant différents scénarios. Cela inclut notamment des incertitudes sur le niveau de fiscalité des installations nucléaires, pour un écart de 7.4 milliards d'euros entre l'estimation haute et basse ; et la réalisation d'économies permises par des optimisations de maturités diverses.

Par exemple, l'intégration de matériaux plus performants ou l'allongement d'alvéoles, ce qui réduit le nombre de galeries à construire. Le nouveau chiffrage prévoit des coûts de sécurisation du site d'environ 10 millions d'euros par an qui n'étaient pas prévus en 2014. De plus, la relance nucléaire voulue par Emmanuel Macron depuis 2022 avec la construction de 6 EPR-2 suivie de 8 autres d'ici à 2045 amène à se poser la question du sous-dimensionnement du site d'enfouissement généré par la production future de déchets hautement radioactifs à vie longue dûs à ces nouveaux EPR-2.

Quel problèmes posent l'installation des réacteurs EPR2 ?

Le coût du projet est prévu pour le stockage des déchets déjà produits ou futurs des installations nucléaires existantes ou déjà autorisées à fin 2016 qui constituent "l'inventaire de référence". Mais pas ceux des 6 futurs réacteurs EPR2 annoncés en 2022 par Emmanuel Macron, qui ne sont pas encore autorisés, indique l'Andra.

Toutefois, "au titre de l'adaptabilité", l'Andra a étudié cette hypothèse qui représenterait une augmentation de 5% du volume des déchets dits "à vie longue" et de 20% des déchets dits "à haute activité" par rapport au total prévu pour Cigéo. Ceux-ci "seront intégrés dans l'inventaire de réserve" et "la faisabilité de leur prise en charge (...) regardée pendant l'instruction".

Si la relance du nucléaire va au-delà, avec les huit EPR2 additionnels évoqués par Emmanuel Macron ou de petits réacteurs (SMR), d'autres études seront nécessaires, et « *si on rajoute des déchets, forcément le coût augmentera* », indique l'Andra.

Description générale du projet ?

L'installation envisagée est composée d'installations de surface, notamment pour accueillir et préparer les colis de déchets ou servir de support aux travaux de creusement et de construction des ouvrages souterrains. Il est prévu que les déchets soient stockés dans des installations souterraines, situées à environ 500 mètres de profondeur, dans une couche de roche argileuse qui doit être imperméable et avoir des propriétés de confinement sur de très longues échelles de temps.

Un funiculaire devrait pouvoir descendre ou remonter les colis, sa conception et son éventuelle réalisation, maintenance et exploitation ont été confiées à l'entreprise grenobloise POMA (spécialisée dans le transport par câble, les remontées mécaniques et téléphériques) pour un coût total de 68 M€ et pouvant être éventuellement opérationnel en 2025 (si le Centre de stockage est décidé).

Entré en phase pré-industrielle en 2011, le projet Cigéo pourrait accueillir les premiers déchets en 2025 après une série d'étapes et un calendrier définis par la loi. Cigéo est prévu pour être exploité pendant

au moins 100 ans. L'installation souterraine de stockage, à 500 m de profondeur, sera construite progressivement, au fur et à mesure des besoins. Son étendue sera d'environ 15 km² au bout d'une centaine d'années.

La loi impose que cette installation soit réversible pendant au moins cent ans afin de laisser aux générations futures la possibilité de modifier ou d'orienter le processus de stockage, par exemple de retirer les colis stockés si un autre « mode de gestion » était envisagé ou si la sûreté du site était mise en cause. Il n'est cependant pas prévu de laisser à cet effet une provision financière permettant de couvrir tout ou partie du coût d'une telle opération de reprise.

Déchets destinés à Cigéo ?

Cigéo est conçu pour stocker les déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL), qui ne peuvent pas être stockés en surface ou en faible profondeur, pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection. Pour les déchets de haute activité, les plus radioactifs, au moment de leur mise en stockage, le rayonnement qui serait reçu à un mètre d'un colis sans protection est de plusieurs sieverts (Sv) par heure.

Les déchets sont conditionnés en « colis » par leur producteur, puis placés dans un conteneur de stockage. Les volumes de déchets HA et MA-VL qui pourraient être stockés dans Cigéo sont ainsi estimés à :

- environ 10 000 m³ conditionnés pour les déchets HA (environ 60 000 colis), soit de l'ordre de 30 000 m³ de conteneurs ;
- environ 70 000 m³ pour les déchets MA-VL (environ 180 000 colis), soit de l'ordre de 350 000 m³ de conteneurs.

L'inventaire retenu par l'Andra pour la conception du projet Cigéo ne prend en compte que les installations nucléaires passées ou autorisées au 31 décembre 2010 (ou sur le point de l'être), pour une durée de fonctionnement portée à 50 ans. Cependant, pour les déchets issus du fonctionnement du parc de centrales nucléaires actuel, l'inventaire de référence fait l'hypothèse d'un recyclage complet *in fine*

de tous leurs combustibles usés (y compris MOX et URE, qui ne sont pas encore recyclés à ce jour).

De ce fait, la remise en cause du recyclage complet de tous les combustibles usés du parc actuel aurait un fort impact sur la nature même des déchets à stocker, (mais seulement vers la fin du XXI^e siècle).

S'il était finalement proposé de stocker des combustibles usés non traités dans Cigéo, celui-ci devrait être sensiblement adapté et son emprise augmentée (environ 25 km² au lieu de 15). En outre, en cas d'arrêt complet du nucléaire, le plutonium séparé (qui ne pourra alors plus être considéré comme une matière nucléaire recyclable) viendra augmenter l'inventaire à prendre en compte. Selon Hervé Kempf, de *Reporterre*, il faut remettre à plat le retraitement, qui conduit à la création de 5 types de déchets (les actinides mineurs, le plutonium, le MOX usé, l'uranium de retraitement ainsi que le combustible uranium usé), rediscuter les conditions de stockage des déchets à l'usine de la Hague.

Le stockage dans Cigéo de déchets d'installations futures serait possible, dans la mesure où ils seraient compatibles avec l'autorisation (en volume, nature et activités de déchets autorisés). Si l'inventaire à prendre en compte dépassait les limites de l'autorisation de Cigéo, celle-ci devrait être modifiée à l'issue d'une procédure de modification du décret d'autorisation après enquête publique.

Les volumes à stocker sont étroitement dépendants de la politique énergétique, avec une hausse du volume en cas d'arrêt prématuré de certaines centrales. Les opposants au débat réclament le report du débat après la loi de programmation sur la transition énergétique, tandis que l'ASN préconise, en raison de ces incertitudes, que des « hypothèses majorantes » soient prises en compte.

Quelle réversibilité du stockage ?

La principale objection des opposants au projet Cigeo repose sur l'exigence de réversibilité de l'enfouissement des déchets hautement radioactifs à vie longue, qui permettrait l'extraction de ces déchets pour différentes raisons : risques d'incendie, d'explosion et de contamination

radioactive, résolution ultérieure par transmutation de la radioactivité, etc.

En l'état, l'Andra prévoit de condamner définitivement l'accès au site souterrain après une période de construction et d'observation du site d'enfouissement, sans possibilité d'accès et d'extraction du site. Les opposants ont obtenu de l'ASN que l'Andra garantisse la réversibilité de l'enfouissement, mais actuellement, le flou demeure complet sur cette réversibilité.

Afin de laisser la possibilité aux prochaines générations de revenir sur les choix du stockage, la loi de programme sur les déchets radioactifs pose comme principe que ce stockage soit réversible, à titre de précaution : *« 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. »*



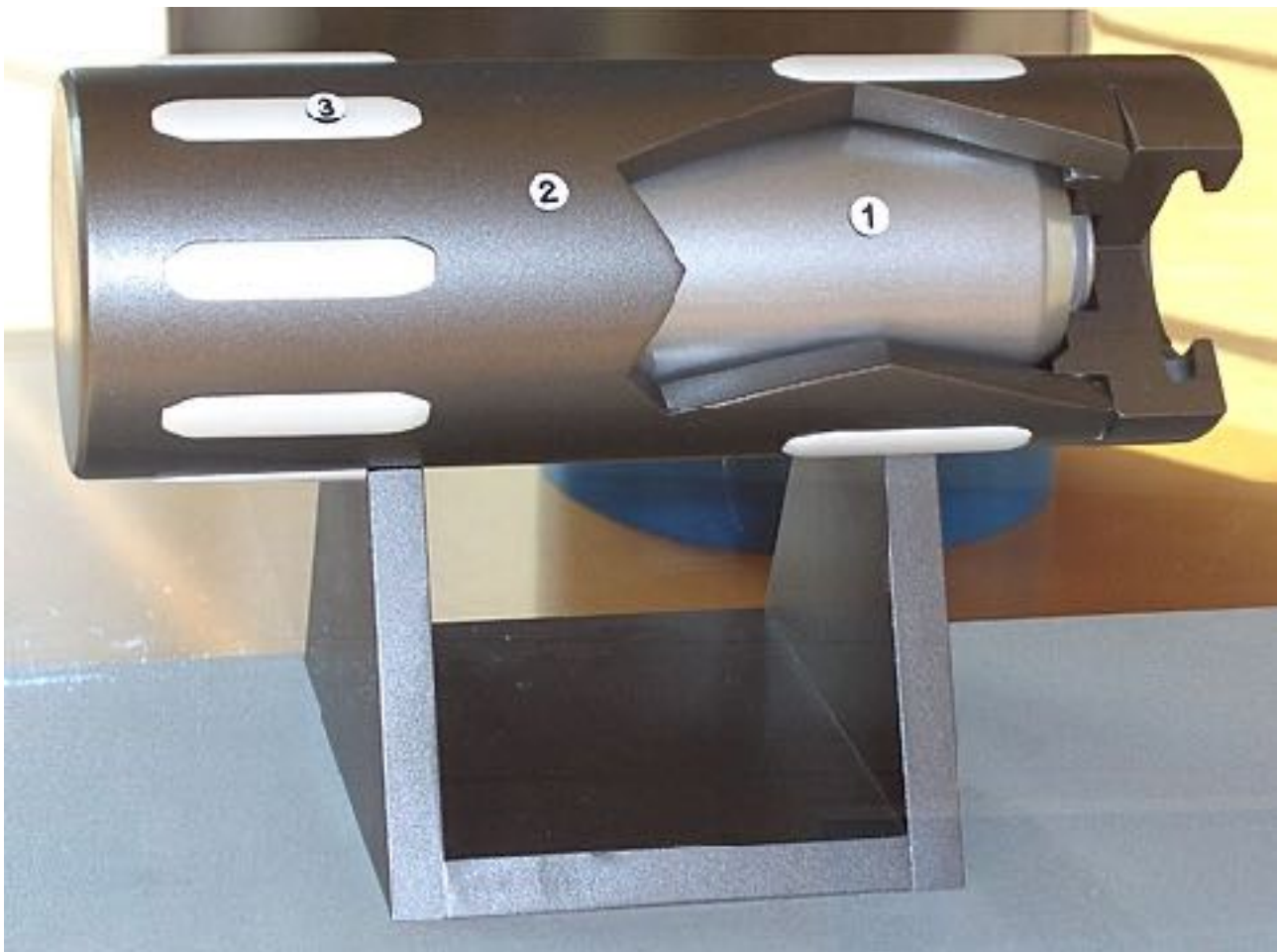
Conteneur en béton
destiné au stockage
des déchets MAVL.

L'Andra a prévu que : *« Les conditions de réversibilité ne sont pas fixées a priori, elles doivent être discutées lors du débat public. Après le débat public (qui a d'ores et déjà avorté), le Gouvernement présente un projet de loi fixant ces conditions, conduisant à un débat parlementaire ; ce n'est qu'ensuite que l'autorisation de création du centre de stockage pourra être délivrée. Cette autorisation fixe la durée minimale pendant laquelle la réversibilité du stockage doit être assurée ; et cette durée ne peut être inférieure à cent ans »*. Fort bien, et après ?

Réversibilité relative ?

La notion de « réversibilité » est relative : ce qui est réversible ou non dépend de la possibilité d'accéder sans risque aux colis, mais aussi du prix que l'on est prêt à payer pour une reprise. Dans un avenir lointain, même enfouis à plusieurs centaines de mètres dans des conteneurs rouillés par les siècles, les déchets pourraient peut-être rester *techniquement* récupérables dans des conditions de sécurité acceptables mais la réouverture d'un puits et des galeries d'accès aurait alors un coût prohibitif, rendant cette opération économiquement risquée.

De ce fait, la réversibilité est conçue par étapes progressives, depuis l'exploitation courante d'une galerie jusqu'à la fermeture définitive du centre : conditionnement en colis, scellement d'alvéole, remblais d'une galerie, puis fermeture du centre. Chaque étape franchie, qui implique le cloisonnement nécessaire à la sécurité du site, rend un peu plus difficile et coûteuse une éventuelle reprise.



Maquette d'un conteneur de stockage (2) destiné à la mise en tunnel de déchets HAVL (1). On distingue les patins (3) destinés à faciliter les extractions éventuelles.

Réversibilité en toute sécurité impérative ?

La réversibilité doit être impérativement prise en compte dès la conception du centre, et faciliter la récupération des colis de déchets « *en toute sécurité* », malgré la profondeur, tant que la décision n'est pas prise de fermer le stockage. Pour rendre cette récupération possible « *en toute sécurité* » :

- les conteneurs et ouvrages de stockage doivent être construits de manière à être résistants pendant au moins toute la durée d'exploitation du stockage, pour permettre un accès facile aux colis de déchets ;
- les dispositifs automatisés prévus pour mettre en place les conteneurs de déchets dans les ouvrages de stockage doivent être tout aussi résistants mais également capables de ressortir ces conteneurs.

Coûts supplémentaires dûs à la réversibilité ?

Ces dispositifs et leur entretien ont évidemment un coût, d'autant plus important que les exigences de réversibilité seront fortes. La question du financement de cette réversibilité rentre dans la réflexion globale de responsabilité intergénérationnelle. L'option prise par les acteurs du projet est de faire financer le laboratoire, la construction, l'exploitation et la fermeture de Cigéo par les générations actuelles, puisqu'elles seules ont fait le choix de ce mode de stockage.

Cela est discutable dans la mesure où le débat national n'a pas abouti s'il a jamais eu lieu, compte tenu de la diabolisation et de la répression féroce exercée contre les opposants au projet qui ont été taxés de « *malfaiteurs auteurs d'atteintes à l'ordre public et de sédition* » par le tribunal de Bar-le-Duc, sur la foi de preuves fabriquées par la gendarmerie nationale.

Pour l'Andra, « *le concept du projet Cigéo est flexible et évolutif. Si nécessaire, il pourra accueillir des combustibles usés non retraités. Les premiers colis à rejoindre le site seront des déchets MA-VL, la question du scellement définitif ou non de la première alvéole se posant vers*

2045. *Et le stockage des premiers colis vitrifiés de déchets HA n'interviendra pas avant 2075* ». Pour d'aucuns, la réversibilité conduit à une complexité induite.

Coût du stockage profond et sources de financement

L'évaluation du coût total de Cigéo doit prendre en compte l'ensemble des coûts du stockage sur plus de 100 ans : les études, la construction des premiers ouvrages (bâtiments de surface, puits, descenderies), l'exploitation (personnel, maintenance, énergie...), la construction progressive des ouvrages souterrains, puis leur fermeture, leur surveillance... Une partie de ces coûts/investissements devraient selon l'Andra concerner les salaires de 1 500 à 2 000 personnes, employées durant toute la durée des travaux de creusement et d'enfouissement, soit au moins une centaine d'années.

- En 2003, l'Andra a publié une première évaluation de ce coût, sur la base de concepts techniques de 2002. Plusieurs scénarios ont été retenus, dont les coûts variaient de 15,9 à 55 milliards d'euros selon les options retenues en matière de retraitement.
- En 2009, l'Andra a communiqué aux producteurs un nouveau dossier de conception et une nouvelle estimation (dite « *SI 2009* ») du coût du stockage profond, alors évalué à 33,8 milliards d'euros₂₀₀₈ (soit 35,9 G€₂₀₁₀). Le dossier 2009 intègre une hausse de l'inventaire à stocker, et des évolutions techniques visant à mieux prendre en considération les impératifs de sûreté et de réversibilité.
- En 2013, l'Andra devait procéder à une nouvelle estimation. Sur la base de l'esquisse technique affinée par l'Andra début 2013, et après un premier exercice d'optimisation, l'estimation s'élève fin 2013 à 28 G€₂₀₁₃, hors dépenses de recherche, assurances et fiscalité, soit un montant sensiblement identique à périmètre constant. Des pistes d'optimisation restent encore à instruire entre l'Andra et les producteurs pour affiner ce chiffrage.
- En novembre 2013, l'Andra informe lors d'un débat public que cette ré-évaluation ne sera remise au gouvernement que courant 2014. Après avoir recueilli les observations des producteurs de déchets et l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire, le ministre chargé de l'énergie doit arrêter l'évaluation de ces coûts et la rendre publique.

- En janvier 2016, ce coût est officiellement arrêté à 25 milliards d'euros par le ministère de l'écologie et du développement durable, chargé de l'énergie.

Ce coût sera théoriquement financé par les producteurs de déchets (EDF, le CEA et Areva), à travers des conventions passées avec l'Andra, qui constituera un « *fonds destiné au financement de la construction, de l'exploitation, de l'arrêt définitif, de l'entretien et de la surveillance des installations d'entreposage ou de stockage des déchets de haute ou de moyenne activité à vie longue* ». Pour un nouveau réacteur nucléaire sur l'ensemble de sa durée de fonctionnement, ce coût représente théoriquement de l'ordre de 1 à 2 % du coût total de la production d'électricité.

Attentes de l'ASN relatives à la sûreté ?

En France, toute entité prévoyant de créer ou exploiter une installation nucléaire de base doit déposer un « *dossier d'options de sûreté* ». L'ASN a publié un guide de sûreté en cas de stockage géologique définitif des déchets radioactifs (en 2008) et émis plusieurs avis sur le dossier avant l'enquête publique de 2013 (dont les conclusions ont été rendues début 2014).

Après le débat public inabouti relatif au projet (fin 2013), l'Andra a annoncé vouloir démarrer l'exploitation du stockage en 2025, avec une « *phase industrielle pilote* » « *de 5 à 10 ans* » précédant une longue phase d'exploitation courante. Elle a annoncé à cette occasion qu'elle remettrait en 2015 à l'ASN un dossier d'options de sûreté, préalable à la demande d'autorisation de création. Ce dossier comprendra des « *documents relatifs aux options techniques de récupérabilité, un projet de spécifications préliminaires d'acceptation des colis et un plan directeur pour l'exploitation* ».

Le 20 janvier 2015, l'ASN répond à l'Andra en lui communiquant par courrier du 19 décembre 2014 ses attentes quant à ce dossier d'options de sûreté :

- couverture intégrale du site ; de toutes les installations (de surface, souterraines et de liaisons surface-fond) ;
- structure *auto-portante* des installations ;

- avec présentation claire des objectifs, concepts et principes retenus pour la sûreté (en exploitation et à long terme, et à toutes les phases de vie de l'installation : conception, construction, fonctionnement, mise à l'arrêt définitif, démantèlement ou fermeture, entretien et surveillance, selon les sous-ensembles de l'installation concernés) ;
- réversibilité (au sens large de l'OCDE), avec double exigence ; a) exigence d'adaptabilité de l'installation (de manière à pouvoir réaffecter les usages au moment de la construction ou de l'exploitation, afin d'éventuellement pouvoir faire évoluer les installations, et b) exigence de récupérabilité des déchets « *pendant une période donnée* », en veillant à résoudre les problèmes habituels de difficulté d'accessibilité des colis de déchets (y compris après clôture des alvéoles de stockage et des galeries d'accès, ou en cas de perte d'intégrité du confinement des conteneurs de déchets, et en tenant compte du vieillissement ou de l'endommagement des structures.

L'ASN insiste aussi pour connaître « *la politique prévue par l'Andra en matière de sous-traitance* » et aussi voir dans le dossier « *une esquisse de la notice prévue au II. de l'article 8 du décret du 2 novembre 2007 présentant les capacités techniques de l'Andra en vue de la construction et de l'exploitation de cette installation telles que définies à l'article 2.1.1 de l'arrêté du 7 février 2012* » et liste d'autres demandes dans une annexe du courrier.

L'avis de l'ASN sur le dossier d'options de sûreté, publié le 15 janvier 2018, confirme l'analyse de son expert technique jugeant que le projet a atteint « une maturité technologique satisfaisante ». Il reprend cependant à son compte les craintes exprimées à l'été 2017 par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les déchets « bitumés », représentant 16 % des volumes et 18 % des colis que l'Andra prévoit de stocker, qui présenteraient des risques d'incendie ; deux solutions s'offrent donc à l'Andra : les traiter pour les rendre inertes, par exemple par un procédé de pyrolyse, ou modifier la conception de Cigéo pour éviter une réaction en chaîne en cas d'incendie d'un colis. Cette dernière clause a son importance mais ne garantit en rien la prévision et la mise en oeuvre des procédures d'urgence appropriées en cas d'accident nucléaire grave intervenant dans le site. De plus, après la fusion imposée par le gouvernement actuel de l'IRSN et de l'ASN en un seul organisme l'ASNR en 2024, les

rôles respectifs des deux anciens gendarmes du nucléaire ne sont plus aussi clairement définis qu'auparavant dans ce nouveau monopole et cela pose la problème essentiel de la prévention, du contrôle et du suivi d'évènements nucléaires dans ce site d'enfouissement.

Problématique de l'actualisation des charges et stabilité du financement

En application de la loi de 2006 sur les déchets nucléaires, les producteurs de déchet étaient légalement tenus d'évaluer le coût à long terme que représentent leurs déchets, et d'équilibrer ces charges futures par des actifs dédiés bloqués à cette fin. Ces charges ne sont pas comptabilisées en « valeur brute », mais sont actualisées : les actifs dédiés sont placés et rapportent des intérêts financiers ; si le taux d'intérêt est par exemple de 3,04 %, un euro placé aujourd'hui rapportera théoriquement $1.0304^{100} = 20$ € au bout d'un siècle, ce qui permet d'équilibrer au niveau comptable une dépense vingt fois plus élevée dans cent ans.

Une difficulté soulevée par les opposants au projet est que du fait de l'actualisation, les provisions pour charge passées par les producteurs de déchet ne couvrent donc que très partiellement ce que seront les charges futures du centre de stockage. L'actualisation forte (5 et/ou 3 %) pour les charges de long terme permet aux exploitants de ne provisionner que 5 Milliards d'euros pour le projet Cigéo alors que ce projet devrait coûter au moins sept fois plus.

De ce fait, il serait à craindre que si les provisions des producteurs s'avèrent insuffisantes, « Nos enfants n'auront que les déchets pour héritage. »

Cette objection repose sur la capacité qu'auront les placements financiers à tenir une performance à long terme. Cependant, le taux d'actualisation retenu par les producteurs de déchets n'est en réalité pas fixe, mais est lui-même contraint : *« il ne peut excéder le taux de rendement, tel qu'anticipé avec un haut degré de confiance, des actifs de couverture, gérés avec un degré de sécurité et de liquidité suffisant pour répondre à leur objet »* fet doit faire l'objet d'une évaluation annuelle : si le rendement financier des provisions s'avère inférieur aux prévisions, les producteurs doivent réévaluer leurs charges (à la hausse), ce qui déséquilibre leur bilan de charge. Dans ce cas,

« l'autorité administrative relève une insuffisance ou une inadéquation dans l'évaluation des charges, le calcul des provisions ou le montant, [et peut] prescrire les mesures nécessaires à la régularisation de sa situation en fixant les délais dans lesquels celui-ci doit les mettre en œuvre ».

Les exploitants sont alors tenu d'augmenter les provisions pour rééquilibrer leurs comptes de charge de long terme. L'État a renoncé à couvrir les charges du CEA par des actifs propres, mais en assurera le financement par voie budgétaire ; pour les opérateurs dont les charges portent surtout sur le long terme, la date butoir pour respecter cette règle de couverture a été repoussée de 2011 à 2014.

Conclusion

Ce projet Cigeo est manifestement un très mauvais projet qui s'est enlisé durablement et une usine à gaz qui préempte l'avenir de nos générations futures pour des dizaines de milliers d'années sans aucune garantie de résolution du problème qui reste insoluble, celui du retraitement des déchets hautement radioactifs à vie longue, produits par nos 58 centrales nucléaires, sans compter ceux qui seront produits par les 14 EPR-2 et les futurs SMR voulus par la relance nucléaire imposée par Emmanuel Macron.

Le coût de ce projet pharaonique est en constante augmentation et dépasse bien évidemment les projections initiales, d'autant plus que la réversibilité du stockage est maintenant exigée par l'ASN renommée ASNR après la fusion de l'ASN et de l'IRSN imposée par le gouvernement actuel, qui n'a pas pu mettre sous le tapis cette exigence de réversibilité réclamée par les opposants au projet qui refusaient la fermeture définitive des accès du site d'enfouissement pour des dizaines de milliers d'années.

La France reste à l'heure actuelle le seul pays engagé dans ce projet d'enfouissement des déchets hautement radioactifs à vie longue, car les autres pays comme l'Allemagne fédérale, le Royaume-Uni et les USA ont choisi des sites de stockages radioactifs accessibles donc réversibles. L'Allemagne a renoncé à ce procédé après avoir été éclaboussée par le scandale de la contamination de son site de stockage dans l'ancienne mine de sel de Hasse, dissimulée pendant longtemps par les gestionnaires du site.

