

Pour les déchets HAVL

Une variante à CIGEO et, peut-être, un concept alternatif au « tout argile »

En septembre 2024 le président du groupe de travaux sur les alternatives à CIGEO (projet actuel de stockage dans l'argile) m'a invité à venir exposer les conclusions du débat que j'ai présidé en 2005 2006 sur « les options générales pour la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (HAVL) ». J'ai demandé qu'un peu de temps me soit laissé pour exposer la variante à CIGEO que j'ai élaborée et défendue, devenu partie prenante, au fil des concertations auxquelles l'ANDRA m'a invité depuis 2013. Le texte qui suit est la mise en forme de cette brève présentation.

Cette variante est directement inspirée de ce que j'ai entendu du public en 2005 2006, et suivi depuis, jusques et y compris dans le débat de 2019 et lors des concertations de l'ANDRA. C'est donc une élaboration au plus près de ce que j'ai compris des sentiments les plus permanents du public, et des connaissances sur l'industrie nucléaire entendues dans le débat public.

Ce texte se situe donc très en amont d'un projet alternatif, au stade d'une option générale pour gérer les déchets HAVL différente du « tout argile », comme si on était à la sortie du débat de 2006. C'est un plaidoyer pour l'ouverture d'une piste basée sur la complémentarité possible entre entreposage et stockage.

Cette piste part de l'avis du public de 2005 en faveur d'un entreposage de subsurface comme seule manière de crédibiliser la réversibilité promise par la loi. Pour cela la variante proposée n'irait pas jusqu'à ce qu'en 2006 on a appelé « l'entreposage pérennisé », elle enchaînerait à cet entreposage de subsurface un stockage dans l'argile de colis ainsi refroidis et fiabilisés.

Cette variante pourrait aussi être le temps et le lieu pour construire une complémentarité plus profonde entre la trame de verre qui loge les radioéléments à haute activité à la sortie des réacteurs, et les alvéoles d'argile de CIGEO. Soit le verre pour contenir les atomes radioactifs eux-mêmes, et, pour leur rayonnement, l'argile. Une telle option devrait, pensons nous, susciter dans le public une représentation du stockage plus adaptée aux sentiments collectifs qu'il a exprimés depuis 20 ans.

Une annexe résume schématiquement ce chemin, et le programme de recherches à réaliser en parallèle à PHIP2, pour le conduire jusqu'au stade d'un projet à comparer à CIGEO dans une vingtaine d'années (calendrier CIGEO). La conclusion suggère un moyen rapide et peu coûteux d'en tester l'intérêt et la faisabilité à dire d'experts avant de l'entreprendre.

- Pourquoi chercher, encore, une alternative à CIGEO ?

Tel qu'il est aujourd'hui, CIGEO répond à la recommandation essentielle du débat de 2005-2006 telle qu'il en a été rendu compte au CEA (Comité). Le temps du projet, avec ses deux étapes, long entreposage surveillé, puis stockage très progressif, ménageant une certaine réversibilité, le tout préparé par une phase pilote de plusieurs décennies, a fait sien le diagnostic posé à l'époque : « nous ne sommes pas pressés » (le public), « on vous donne du temps » (le CEA Commissariat). C'est tout au crédit de l'ANDRA et de sa Direction

générale que d'avoir enfin convaincu le pouvoir politique qu'on est obligé de gérer les HAVL durant plusieurs générations avant de pouvoir considérer qu'on s'en est « débarrassés ».

En outre, qui pourrait concevoir dialogue plus exigeant, par la qualité des ingénieries en confrontation et leurs déontologies respectives, que celui qui s'est produit et continuera de se produire entre ANDRA et ASNR, pour conjurer un à un les risques du stockage géologique des MA-HAVL ? Et connaît-on autre méthode qu'une telle confrontation pour s'approcher au mieux de la fiabilité scientifique ? Cela devrait forcer la confiance.

Mais, car il y a un MAIS, cela n'est qu'un optimum partiel, le mieux que l'on puisse faire dans le cadre fixé à ce dipôle ANDRA/ASNR par les lois de 2006 et 2016. Il faut convaincre le public concerné qu'il n'y a pas mieux à faire que ce cadre-là. C'est répondre à la demande d'étude d'alternative, consensus du débat de 2006, renouvelée par le boycott du débat de 2013 qui refusait de mettre le sujet à l'ordre du jour, et formulée à nouveau lors du débat de 2019¹. La remarquable synthèse mémorielle qu'à diligentée la CNDP, établit dans son premier chapitre, références à l'appui, la permanence de cette demande².

Demande d'alternative d'autant plus compréhensible que les conseils de sagesse prodigués en 2006 par les ingénieurs pour garder la confiance du public n'ont pas été suivis. La conclusion du débat (point 4 du compte rendu au CEA-Comité)³ a été ignorée par le parlement. Bien qu'en sa séance de mars 2006, le président d'EDF ait conseillé aux ministres co-présidents du comité, de suivre cette conclusion. Rejoignant le DGEMP et le CEA-Commissariat⁴ lors de la réunion publique conclusive du débat à Lyon. En 2024 le président du Groupe de Travail Alternatives, œil scientifique neuf, s'est étonné que le politique n'ait pas suivi ces avis, tellement cette conclusion équilibrée a dû lui paraître s'imposer. Il m'en a demandé les raisons selon moi.

Selon moi, on doit surtout corriger cette erreur. Le calendrier du projet de l'ANDRA, CIGEO, nous donne 20 ans, délai de la phase test de CIGEO en vraie grandeur, dite PHIPIL, avant délibération ultime du parlement de passer à la réalisation. Il faut en profiter pour transgresser le cadre législatif, sans lâcher la proie pour l'ombre. C'est à dire, en parallèle à PHIPIL, construire une variante basée sur une coopération entre stockage en profondeur et entreposage de subsurface, préféré par le public au point de prôner « un entreposage

¹ Le travail de Michel BADRE et ses deux collègues a bien montré que le refus obstiné, Préfet après Préfet, de mettre à l'étude toute alternative à NDDL a été le facteur déterminant de la radicalisation de l'opposition à ce projet, devenu « irréalisable » selon le PM qui l'a enterré. Prévenir CIGEO de la même radicalisation fût la raison que ce même PM alléguait pour doter CIGEO d'une présence de la gendarmerie. Qu'en sera-t-il dans 20 ou 30 ans, notamment face au renforcement des Maires d'opposition ?

² « Rapport Questionnement CIGEO », par les garants de la concertation post débat 2013, mis en ligne sur le site de la CNDP le 25/04/2025

³ Extrait du CR au CEA (Comité), point 4 : « Puisque on a dix à quinze ans devant soi, l'accord s'est fait pour « avancer sans brûler les étapes, évaluer, savoir et pouvoir s'arrêter ». Mais deux stratégies distinctes sont apparues pour le faire.

La première basée sur une éthique de l'action ne retient que la solution du stockage géologique dite solution de référence. ...

La seconde basée sur le principe de précaution fait avancer en parallèle les essais complémentaires sur le laboratoire de stockage géologique et l'expérimentation d'un prototype d'entreposage pérennisé sur un site à définir. Elle place la décision à l'horizon 2020. Elle est celle de ceux qui pensent que l'approfondissement des deux solutions pendant quinze ans doit permettre de décanter l'analyse éthique de cette question et de faire progresser l'ingénierie de la réversibilité, y compris dans le stockage.

⁴ Extrait même CR: « L'évaluation de ces conclusions par les participants : ... Il y a tous les autres et parmi ceux-là aucun ne critique la stratégie de précaution. Il est dit à nouveau qu'on a du temps (CEA) ; qu'il faut dix ans (ANDRA) ; que dix à quinze ans c'est bien (M. de MARSILY) ; qu'on a « deux solutions tranchées faisables et acceptables par tous » (CEA) ; qu'il faut de la flexibilité c'est-à-dire ne pas se trouver piégé dans une décision sans alternative (Directeur Général de l'Energie et des Matières Premières). »

pérennisé ». Nous n'irons pas jusque-là. Notre option est celle d'un entreposage de subsurface de quelques siècles (v. Annexe).

Outre ses avantages propres par rapport à CIGEO, évoqués ci-dessous, cette variante donnerait plus de temps pour murir l'innovation de rupture, défendue par les experts opposés à tout stockage profond. Elle s'appuie sur cette déclaration d'un prix Nobel de physique que les progrès du LASER devraient permettre de transmuter les HAVL⁵. Elle a séduit le public qui ne comprendrait pas qu'elle soit éludée faute de temps de recherche de mise en œuvre. Un entreposage de deux ou trois siècles donnerait ce temps.

- La Variante : Assurer dans un entrepôt dédié la réversibilité promise au public

La réversibilité était la contrepartie que Christian Bataille offrait au public, pour conjurer la peur que causait le concept de faire confiance à la géologie, dont l' élu était bien conscient. Il avait d'ailleurs eu bien du mal à en convaincre l'ANDRA. La mine « gérée comme un entrepôt » (Mme DUPUIS DG de l'ANDRA en 2006), pendant le temps de chargement progressif, soit 150 à 200 ans, fut le dispositif censé répondre à cette exigence. Celui-ci n'a pas convaincu le public en 2006⁶. En 2013 on peut dire que le passage de l'option, dite de référence dans la loi de 2006, à CIGEO a créé des peurs nouvelles, qui se sont exprimées plus violemment encore. En ajoutant le stockage des MAVL au cahier des charges, le politique y a largement contribué. Le débat sur le PNGDMR (2019) a demandé, et encore plus fort, des alternatives, malgré de premières indications positives de l'ASN sur CIGEO. Défiance toujours !

C'est la raison pour laquelle le point de départ de la variante (Annexe) est de gérer la période de réversibilité dans un entrepôt dédié de subsurface, analogue à celui proposé par le CEA en 2005. Le remplissage du stockage ne serait plus progressif, il devrait pouvoir être plus rapide à la fin de la période d'entreposage, les colis étant froids et fiables. De sorte que les fermetures définitives de CIGEO et de la variante coïncideraient à peu près. '

Du point de vue de l'acceptabilité par les gens, cette variante possède des avantages. D'abord bien sûr une réversibilité convaincante, réalisée selon l'entreposage que le public a lui-même plébiscité, validant ainsi l'intuition juste des élus. Ensuite parce que les peurs exprimées en 2013 au vu de CIGEO, au point de rendre le débat impossible, peur d'incendie notamment, disparaissent du fait que les manipulations des MAVL et des HAVL sont

⁵ Michel BADRE me fait également remarquer avec raison combien la survenue de ruptures est beaucoup plus fréquent dans le « nucléaire » que dans les infrastructures classiques. Donner du temps au temps y est beaucoup plus important.

⁶ Compte rendu du débat au CEA de 2006, point 4 : « « Alibi » imposé par les politiques aux techniciens aux yeux des habitants, la réversibilité est apparue, notamment à Joinville, par la violence même avec laquelle elle a été attaquée, comme le critère qui pourrait faire basculer vers l'acceptabilité. A Lyon : « la réversibilité fait partie du principe de précaution ». Elle constitue le seul paramètre qui puisse concilier avec l'éthique la transmission aux générations futures de déchets à vie longue.

« La fermeture du stockage par étapes sur 200 à 300 ans » décrite par l'ANDRA est-elle une réversibilité réelle ou une réponse « pour faire plaisir aux politiques » ? Les déclarations des scientifiques, l'histoire de la formation du consensus sur le stockage géologique dans la communauté scientifique internationale, peut-être la difficulté à comprendre ce qu'est réellement la « fermeture par étapes », l'impossibilité de mesurer l'évolution des colis stockés ont certainement laissé un doute sur la réponse à cette question.

Face à ce doute, l'entreposage « a été remis en selle », comme l'étalon de la réversibilité. La surveillance des colis y est possible, comme leur reprise en cas de défectuosité. Cela a conduit certains à proposer de passer de l'entreposage de longue durée à l'entreposage pérennisé. »

disjointes dans le temps. Enfin, peut-être plus encore⁷. De sorte que, si ces avantages étaient confirmés par la « recherche socioéconomique » (Annexe), la variante s'imposerait en tout état de cause.

- Nouvel enjeu de cet entreposage : le confinement millénaire des radioéléments HAVL par tuilage verre puis argile. Conséquence d'une fiabilisation exigeante des colis ?

« Fiabiliser la longévité des colis de verre », le but de la « recherche nucléaire » décrite en Annexe, c'est tester un nouveau concept. Celui de faire jouer un rôle au verre des colis HAVL, même une fois les alvéoles de CIGEO scellées : le confinement des atomes très actifs pendant les millénaires proches, l'argile protégeant de leurs rayonnements. L'argile relayant le confinement des radioéléments par le verre, quand l'énergie des atomes a suffisamment diminué⁸. Soit au bout d'environ cinq millénaires. Car c'est, selon les courbes d'affaiblissement publiées, le temps au bout duquel l'activité des HAVL est ramenée au niveau de quelques 4 ou 5 TBq par Kg, de l'ordre de grandeur de l'activité des MAVL (1 TBq) lorsque qu'on les enfouit. Ce qui n'a jamais soulevé de crainte de « remontée » exprimée. Mais pourquoi le verre serait-il plus sûr que l'argile pour empêcher la remontée des radioéléments à Haute Activité (HA de HAVL) ?

D'abord, parce que le verre est particulièrement stable et que l'on prend une marge de sécurité par rapport à sa durée de résistance de dix millénaires évoqués dans la littérature. Mais surtout, comme l'a expliqué le CEA en 2006, parce que dans les colis, les radioéléments sont intégrés « dans la trame vitreuse ». Disposition plus efficace qu'un simple enrobement par un matériau de confinement, fusse l'argile de l'alvéole de stockage. Amalgame dont l'inspection non invasive aurait contrôlé la bonne réalisation colis par colis, pendant l'entreposage industriel.

La « recherche nucléaire » (Annexe), à conduire pendant PHIPIL, est donc décisive pour valider ou non le concept de tuilage. C'est pourquoi nous avons pris le risque, bien que néophyte, d'en proposer un programme détaillé, au demeurant en copiant une démarche usuelle de l'ingénierie du nucléaire, la création d'un jumeau numérique du (des ?) colis de verre. A l'aide de cet outil celle-ci saura définir les caractères des colis à risque. Et donc donner une chance à cette option de gestion de la Haute Activité, à comparer par le Parlement aux résultats de PHIPIL, dans vingt ans.

- En tout état de cause une rupture dans la relation au public, pendant ces vingt ans.

Vu du public, l'inspection non invasive de chaque colis rend transparent le dialogue entre ANDRA et ASNR. Le contrôle de la fiabilité des colis est maîtrisé de bout en bout, de la recherche établissant les critères de fiabilité, durant PHIPIL, jusqu'à l'inspection non invasive de chaque colis, durant l'entreposage séculaire. En outre, par sa traduction imagée certainement possible, ce contrôle de fiabilité peut être publicisé, compris et discuté par tous. Il obéit à toutes les vertus d'un processus de construction de la confiance : transparent, compréhensible, discutable. De quoi « assurer le public » que le verre est « sans surprise »,

⁷ Le rapport Global Chance de 2013 fait penser à quelques pistes d'économie. Sur le génie civil : le revêtement des galeries et des alvéoles, les scellements de ces dernières, la ventilation des galeries.... Sur la manipulation des colis : leur descente dans le stockage, la séparation temporelle de la manipulation des moyennes activités et des hautes activités, la remontée des colis défectueux...

⁸ L'ANDRA prévoit de poursuivre des recherches visant à améliorer le sur-conteneur et l'alvéole pour répondre aux « risques résiduels ». Notre proposition n'est-elle pas une autre manière de s'adresser aux mêmes « risques résiduels » ? Plus directement accessible à la confiance du public ?

et l'argile mis en jeu seulement quand les HAVL sont réduits à une activité de l'ordre de celle des MAVL.

Du point de vue du dialogue avec le public, la fiabilisation exigeante des colis pour un tuilage millénaire, nouvel enjeu de l'entreposage réversible en subsurface, transgresse le cadre de 2006 et 2016. Elle introduit un nouveau concept : confiner les radio éléments dans le verre pendant leur HA, leur rayonnement, et eux-mêmes le reste de leur VL, dans l'argile. Mettre ce concept à l'agenda, cette nouvelle « option de gestion des HAVL », c'est réparer la rebuffade de 2006. Cela change le contexte du dialogue avec le public pendant PHIPIL elle-même. Appréciable !

En effet, parce qu'il tenait à dire qu'on « avait une solution », et qu'il voulait que personne ne puisse douter de sa propre conviction, le parlement s'est opposé en 2006 à toute étude d'alternative. Il a passé outre les hésitations des ingénieurs et leurs conseils de sagesse. Il a réaffirmé ce refus en 2016 malgré le durcissement de l'opposition. Il a choisi une option, l'a sacralisée par la loi, et a demandé à l'ANDRA de la traduire en projet, et de faire accepter l'option par le public concerné grâce aux perfectionnements du projet. La conjugaison des peurs inhérentes à l'option générale et de la défiance des institutions a rendu la tâche ardue.

Ce processus politico technique, s'identifie à ce que Michel CALON a appelé « l'instruction publique ». Cette verticalité ne marche plus. Car le public éprouve désormais une défiance générale à l'égard des institutions et des élites qui les dirigent. A cause de cette défiance, quand il rejette l'option d'amont, son opposition n'est pas désarmée par les démonstrations des ingénieurs du projet, ANDRA, ni l'aval des contrôleurs exigeants de ces derniers, ASNR.

A Bures, comme à NDDL, la défiance a été poussée à l'extrême par le refus de poursuivre, en temps masqué, la réflexion sur les options. Celle-ci s'est composée avec la représentation collective, holistique et bien consolidée, du stockage géologique provoquée par la peur « des surprises de la géologie ». Que l'approche analytique par les risques et les démonstrations de sureté instituées ne parviennent pas à effacer, défiance jouant. Cette représentation collective négative est toujours là puisque la demande d'option alternative est toujours présente, peut-être même toujours plus forte (débat PNGDMR de 2019).

Au rebours de ce processus politico technique, le concept de tuilage des moyens de confinement induit une représentation du projet qui épouse les catégories du public. La représentation d'un « stockage géologique industriel » a été assimilée à un oxymore. On s'en est aperçu dès 2006 lorsque le Président de l'ANDRA a défendu sur un ton véhément la noblesse de ce qualificatif contre celui « d'enfouissement » utilisé par le public. Par le tuilage colis-alvéole, le stockage n'est plus « industriel », c'est l'entrepôt qui l'est. Ceci correspond à la représentation habituelle d'un atelier. Le stockage est passif, « un enfouissement que l'on peut oublier », car de colis contrôlés pour ne faire intervenir l'argile que lorsqu'ils seront de moyenne activité, sans assez d'énergie pour « remonter ». La complexité du « stockage géologique industriel » est décomposée. Certes il s'agit toujours de stockage, mais de stockage auquel on ne demande que d'absorber le rayonnement. L'agitation des radioéléments elle, dont peut résulter leur remontée du fait de leur haute énergie, est contenue par un matériau de très haute stabilité, le verre. Au sein de colis dont on a conçu un contrôlé la fiabilité exigeant par simulation sur un jumeau numérique, que l'on exécute dans l'entrepôt colis par colis, pour conjurer les « surprises » .

- Une expertise plurielle pour mettre ce programme à l'agenda.

L'objet de cette expertise plurielle, dont l'IRSN a initié la pratique, est la faisabilité et l'opportunité du programme de recherches décrit en annexe. Cette prise de vue de l'ensemble

entreposage stockage pour en maximiser les complémentarités, après tant d'années où on les oppose par tout l'un ou tout l'autre, nécessite indépendance et compétence. L'indépendance est assurée par la forme même de l'expertise plurielle qui associe à égalité des experts de tous bords. Compétence pour laquelle l'ASNR, héritière de l'IRSN, est aujourd'hui la mieux désignée. Elle est en outre la voix de l'ingénierie indépendante auprès de la société, la plus légitime pour revendiquer la vue d'ensemble que propose ce papier. Celle qui doit pouvoir dire au public, si c'est le cas, on a laissé du temps au temps, on a transgressé tous les tabous, il n'y a rien de mieux que CIGEO. Ou au contraire, recommander la poursuite du chemin évoqué ici, celui d'une variante se muant en alternative à comparer à CIGEO dans 20 ans.

Georges Mercadal

Annexe :

Un chemin, d'une variante à CIGEO à un concept alternatif au tout argile

- **Variante : Un entrepôt de subsurface, et une fiabilisation du colisage avant stockage**

Gérer la réversibilité de la gestion des HAVL de deux ou trois siècles, en entrepôt de subsurface plutôt que dans la couche d'argile. CIGEO inchangé pour les MAVL.

Pendant ces deux ou trois siècles, où l'on a les colis « sous la main », dans l'entrepôt, réaliser une action industrielle sur les colis, dans le but de fiabiliser chaque colis et d'assurer la longévité du colisage

Puis stocker ces colis, froids et fiables, pour les millénaires, dans un stockage géologique profond aussi simplifié, et fermé rapidement, que possible.

- **Un programme de recherches, pendant PHIPIL, pour préciser et valider l'action industrielle à réaliser dans l'entrepôt séculaire**

A faire effectuer par un ou des organismes motivés. Et en constituer une opportunité de dialogue d'une totale sincérité avec la société pour éroder la défiance. Trois axes de R&D :

1) Une étude industrielle : un APS d'entrepôt pluri séculaire et des moyens de manipulation des colis dans cet entrepôt, de manière à pouvoir mettre en œuvre l'action industrielle définie ci-après, et transférer les colis ainsi refroidis et fiabilisés dans le stockage géologique.

2) Une recherche développement nucléaire pour se donner une méthode de validation de la longévité des colis. Par exemple 1) mettre au point l'inspection non invasive que devrait subir chaque colis pendant l'entreposage séculaire en piochant dans l'énorme stock de connaissances accumulées sur ce thème, par exemple pour « voir » à travers le sodium liquide le cœur du réacteur de quatrième génération ; 2) l'effectuer, pendant PHIPIL sur un échantillon de colis pour comprendre l'amalgame verre-radioéléments qui se fait dans le colis, et construire un simulateur de leur vieillissement ; 3) étudier sur ce simulateur les risques d'écroulement prématuré d'un colis, et le moyen de caractériser les colis qui en seraient porteurs.

3) Une étude socio-économique pour définir les simplifications que la variante permet d'apporter au stockage tel que prévu dans CIGEO, génie civil et manipulation des colis. Puis comparer les avantages et inconvénients, en sûreté et en coûts, de ce système entreposage industriel suivi de stockage simplifié, avec le CIGEO issu de PHIPIL

- **Au préalable, une « expertise plurielle », d'opportunité et de faisabilité de ces recherches en une ou deux années.**

L'expertise plurielle a été mise au point sous l'égide du service de l'ouverture à la société de l'IRSN, notamment pour chercher une solution aux déchets miniers du Poitou. Elle est particulièrement adaptée au dégrossissage des trois lignes d'études précédentes. On voit mal pourquoi elle serait refusée, hormis erreur de raisonnement ou d'information contenue dans notre proposition, bien sûr possible de la part d'un auteur qui ne connaît du nucléaire que ce qu'il a entendu, de la part du public et de la part des responsables, dans les trois débats publics qui ont concerné le sujet des déchets et les concertations ANDRA auxquelles il a été associé.