

Rendre gouvernables les déchets radioactifs

Le stockage profond à l'épreuve de la réversibilité

Rendre gouvernables les déchets radioactifs

Le stockage profond à l'épreuve de la réversibilité

Sommaire

Préface	7	3 - La trajectoire argumentative de la réversibilité	73
François-Michel Gonnot et Marie-Claude Dupuis		 dans la gestion des déchets radioactifs	
		Pierrick Cézanne-Bert, Francis Chateauraynaud	
Introduction	8	Introduction	74
Luis Aparicio		Les auteurs-acteurs de la controverse	77
1 - Déchets nucléaires : ce que décider veut dire	11	Les définitions (et motivations) données à la notion de réversibilité	80
Yannick Barthe		Le déploiement de la notion de réversibilité dans le corpus	85
Le stockage géologique irréversible,	14	Une trajectoire irréversible ?	90
ou le modèle de la « décision tranchée »		Conclusion	95
Le stockage géologique réversible,	18		
ou le modèle de la « décision par étapes »			
L'entreposage en surface « pérennisé »,	24		
ou le modèle de la « décision itérative »			
De simples choix « techniques » ?	27		
Bibliographie	28		
2 - L'approche française de la réversibilité	31		
 en matière de gestion des déchets radioactifs			
 Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra)			
Le projet de création d'un centre de stockage profond réversible,	32		
une démarche sociotechnique			
L'intégration progressive de la demande de réversibilité	35		
dans la conception du stockage géologique en France			
La conception du stockage profond réversible par l'Andra	43		
La place de l'innovation et de la recherche	53		
dans la définition de la réversibilité			
Bibliographie	71		



Préface

La France a placé la notion de réversibilité au cœur de sa politique de gestion des déchets hautement radioactifs.

La réversibilité « à la française » se singularise en laissant à nos successeurs la possibilité de revenir sur certaines décisions prises pendant le stockage profond. Elle va ainsi au-delà de la simple récupérabilité des colis de déchets.

La notion de réversibilité est apparue dans le droit français avec la loi du 30 décembre 1991 qui évoque la possibilité pour le stockage français d'être ou non réversible.

Après quinze ans de recherches, notamment dans son Laboratoire souterrain en Meuse/Haute-Marne, l'Andra a fait la preuve, dans le *Dossier 2005*, que la réversibilité du stockage est possible pendant au moins cent ans. Avec le débat public sur les déchets radioactifs, fin 2005, cette notion de réversibilité est devenue un enjeu majeur de l'acceptabilité même du stockage profond.

La loi du 28 juin 2006 l'instaure comme un principe de gouvernance. Depuis, elle est un sujet de réflexion, à la fois pour les ingénieurs et les scientifiques de l'Andra et des chercheurs en sciences humaines et sociales.

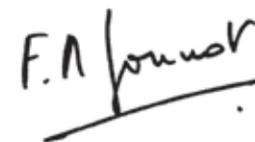
Dès aujourd'hui, ils travaillent à la définition des conditions et des options de la réversibilité qui feront l'objet d'une nouvelle loi, avant que ne soit attribuée l'autorisation définitive de création du stockage profond.

À l'échelle internationale, l'Andra a joué un rôle moteur pour que tous les pays concernés par le stockage profond partagent une grille de lecture commune de la réversibilité. Elle a notamment élaboré un projet d'échelle de la récupérabilité qui met en lumière le caractère progressif du processus de stockage et permettra de définir les modèles de décision associés à chaque passage d'un niveau de gestion à l'autre. Échanger est indispensable pour définir un projet qui soit solide aussi bien sur le plan social que sur le plan scientifique et technique.

Avec cet ouvrage, l'Andra invite le lecteur à participer à ce travail de définition commune, fondement de la future loi française sur les conditions de la réversibilité du stockage profond.

François-Michel GONNOT
Président du conseil d'administration de l'Andra

Marie-Claude DUPUIS
Directrice générale de l'Andra



Introduction

Ce livre est le fruit de la collaboration menée depuis plus de deux ans entre des chercheurs en sciences humaines et sociales et des ingénieurs et scientifiques de l'Andra. La thématique de la réversibilité, à laquelle il est dédié, a été privilégiée en 2008 pour intégrer les recherches en sciences humaines et sociales au sein du programme scientifique de l'Agence et pour promouvoir les coopérations scientifiques dans ce domaine. Depuis, c'est dans cet esprit que l'Andra favorise la constitution progressive de communautés de recherche spécialisées autour de sujets d'intérêt commun, comme par exemple la question des longues échelles de temps.

Les contributions aux différents chapitres du livre ont été discutées et enrichies notamment lors de la journée d'études et du colloque interdisciplinaire organisés sur cette notion par l'Andra, respectivement en 2008 et 2009. Rencontres qui ont aussi fait l'objet de deux publications de l'Agence. L'approche française de la réversibilité en matière de gestion de déchets radioactifs, à laquelle ces échanges ont contribué de manière notable, sera également développée et soumise à nouveau au débat lors du colloque international organisé sous l'égide de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE à Reims du 14 au 17 décembre 2010.

Dédié à l'application du principe de réversibilité dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs, l'ouvrage est composé de trois chapitres. Il aborde ainsi, un peu comme un dialogue, la question de comment conjuguer l'impératif de « mise en sécurité définitive » de ces déchets, énoncé en France par la loi du 28 juin 2006, et l'ouverture de choix pour les rendre gouvernables. La discussion porte principalement, et c'est toute l'originalité de la démarche, sur les modalités opérationnelles spécifiques qui sont envisagées aujourd'hui pour permettre aux générations actuelles et futures d'assurer durablement la protection de l'homme et de l'environnement.

Le premier chapitre a été écrit par Yannick Barthe, chargé de recherche au CNRS et membre du Centre de Sociologie de l'Innovation de Mines ParisTech. Il s'attache aux qualités politiques des technologies et analyse les modes d'action associés aux différentes solutions de gestion proposées. Selon l'auteur, différents modèles de décision – ainsi que des approches spécifiques de la sûreté – sont inscrits dans les dispositifs techniques. L'introduction du principe de réversibilité apparaît à ce titre sous les traits d'une innovation radicale, tant sur le plan technique que sur le plan politique.

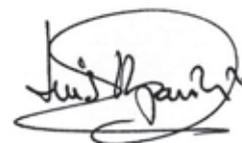
Le deuxième chapitre rend compte du positionnement actuel de l'Andra, en relation avec le projet de création d'un centre de stockage profond réversible. Il présente une définition « par récurrence » de la réversibilité qui associe développement scientifique et technique et processus décisionnel. Le stockage est conçu sur la base des connaissances actuelles de façon à pouvoir être fermé à terme. Son évolution

précise dans le temps dépendra des décisions intermédiaires qui seront adoptées en fonction des évaluations réalisées régulièrement et des connaissances du moment, dans le cadre d'une gestion modulaire et par étapes.

Le troisième et dernier chapitre, rédigé par Pierrick Cézanne-Bert et Francis Chateauraynaud, du Groupe de Sociologie Pragmatique et Réflexive (GSPR) de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, est fondé sur les résultats d'une étude commandée par l'Andra portant sur les répertoires argumentatifs engagés par la notion de réversibilité en France. Le texte examine, en particulier, comment depuis la fin des années 1980 cette notion a été mise en avant en tant que condition de l'acceptabilité sociale de la solution de stockage profond, notamment sur la scène médiatique.

Un remerciement collectif est adressé aux nombreuses personnes qui ont contribué à la réalisation de ce livre. Une mention particulière est due aux auteurs des chapitres, Yannick Barthe, Pierrick Cézanne-Bert, Francis Chateauraynaud, et les rédacteurs de l'Andra Luis Aparicio, Bruno Cahen, Jean-Noël Dumont, Jean-Michel Hoorelbeke, Thibaud Labalette, Patrick Landais, Louis Londe, Stefan Mayer, Rodolphe Raffard, et Sylvie Voinis qui, en tant que représentants des différentes équipes de l'Agence, ont bien voulu s'engager dans cette aventure. Enfin, l'édition de cet ouvrage n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide précieuse d'Édith Millot et le professionnalisme de l'agence Les Créateurs.

Luis APARICIO
Direction scientifique de l'Andra



1

Déchets nucléaires : ce que décider veut dire

Yannick Barthe

Déchets nucléaires : ce que décider veut dire¹

Yannick Barthe

Au début des années 1980, dans un article qui a fait date, le philosophe de la technologie Langdon Winner considérait que rien n'était plus provocateur que l'idée selon laquelle les dispositifs techniques possèdent des qualités politiques (Winner, 1986). Trente ans plus tard, les choses ont bien changé : chacun reconnaît désormais que les technologies « ne sont pas neutres ». C'est même devenu un lieu commun dans les travaux portant sur l'expertise scientifique, la gestion des risques collectifs, les conflits d'aménagement et, de manière plus générale, ce qu'il est convenu d'appeler les rapports entre science et politique. Cependant, au-delà de cette affirmation de principe, ces travaux n'accordent généralement qu'une place réduite aux dispositifs techniques eux-mêmes. Les chercheurs en science politique qui investissent ce type de questions, par exemple, ne s'y attardent que très rarement ; ils préfèrent arpenter des terrains qui leur sont plus familiers et focaliser leur attention sur les stratégies déployées par différents groupes d'intérêt, sur le pouvoir des experts ou encore sur les ressorts des mobilisations. Leur objectif est le plus souvent de montrer que *derrière* les projets techniques se profilent des acteurs dominants. Nous savons très peu de choses sur les propriétés politiques des projets eux-mêmes, c'est-à-dire les contraintes qu'ils font peser et les ressources qu'ils procurent en termes d'action politique et, finalement, le mode de gouvernement auquel ils s'articulent. Bref, en dépit d'une littérature aujourd'hui abondante sur les problèmes et les conflits qui accompagnent le développement technologique, il manque encore cruellement de travaux de *sociologie politique des techniques*.

C'est à ce type de sociologie que je voudrais contribuer dans cet article, en me situant dans le prolongement des études maintenant classiques proposées par l'anthropologie des techniques (Akrich, 1987, 1989 ; Latour, 1992, 1993). La démarche consistera à braquer le projecteur sur les projets techniques eux-mêmes en s'efforçant d'explicitier le type de politique et de modèle de décision qu'ils supposent. Il s'agit d'étudier les concepts technologiques en cherchant à clarifier les problèmes auxquels ils sont censés répondre, les rôles qu'ils font jouer à différents acteurs, les scénarios et les hypothèses qu'ils incorporent et la manière dont ces hypothèses sont questionnées au cours de la controverse.

Pour mener à bien cet exercice, la gestion des déchets nucléaires en France apparaît comme un cas d'école (Barthe, 2006). En effet, la controverse autour du destin de ces résidus encombrants met en scène différentes options technologiques qui ont des propriétés politiques très différentes, en ce sens qu'elles suggèrent des traitements de l'incertitude en tous points opposés et engagent des temporalités décisionnelles très différentes. Dans cette controverse, une question en particulier cristallise les débats : doit-on privilégier une solution *irréversible* pour ces déchets ou au contraire s'orienter vers des solutions *réversibles* ? Dans les pages qui suivent, je vais revenir en détail sur ces deux approches en examinant trois concepts technologiques qui ont, à un moment ou à un autre, été au cœur des discussions et à propos desquels le problème de l'irréversibilité et de la réversibilité s'est posé. Je montrerai que chacun de ces dispositifs techniques peut être associé à une conception particulière de la décision politique. Aussi le passage d'un dispositif à un autre signifie-t-il beaucoup plus qu'une simple réorientation technologique : il correspond à une transformation profonde des modes d'action privilégiés en situation d'incertitude, dont il serait d'ailleurs aisé de trouver des traductions dans d'autres domaines (Barthe, Callon et Lascoumes, 2009).

Avant d'entrer dans le vif du sujet, je crois utile de préciser d'emblée les limites de cette démarche, ceci afin d'anticiper certaines critiques qu'elle pourrait à bon droit susciter. Dans cet article, je m'intéresserai très peu aux « acteurs » qui peuplent généralement l'analyse des controverses technologiques. Ainsi n'apprendra-t-on quasiment rien de l'identité des experts de la question, ni du type d'actions menées par les groupes contestataires, ni enfin des procédures politiques mises en place pour traiter les conflits suscités par le stockage des déchets nucléaires. Tous ces aspects devraient être pris en considération si nous voulions restituer la dynamique d'ensemble de cette controverse. Ce n'est pas mon propos ici. Pour mieux mettre en lumière et souligner l'importance des enjeux politiques contenus dans les projets techniques eux-mêmes, il peut au contraire être de bonne méthode de laisser volontairement tous ces aspects de côté, et de corriger du même coup l'asymétrie qui caractérise bon nombre de travaux sur ce genre de sujet.

¹ Ce chapitre est la version légèrement modifiée d'un article publié dans la revue *Tracés* : Yannick Barthe, « Les qualités politiques des technologies. Irréversibilité et réversibilité dans la gestion des déchets nucléaires », *Tracés*, n° 16, 2009, p. 119-137. Je remercie Jacques de Maillard pour ses remarques sur la première version de ce texte, ainsi que Luis Aparício pour ses commentaires sur la présente version.



Le stockage géologique irréversible, ou le modèle de la « décision tranchée »

À l'origine des controverses publiques qui entourent depuis près de vingt ans la gestion des déchets nucléaires en France, se trouve un concept technologique précis, celui de *stockage géologique irréversible*, parfois aussi plus simplement appelé *enfouissement*. Contrairement aux apparences, il ne s'agit en rien d'une solution de facilité, ni d'un pis-aller. C'est une solution qui a été au contraire mûrement réfléchie au cours de plusieurs décennies de recherches et qui est censée apporter une réponse au principal problème posé par les déchets nucléaires, celui de leur « durée de vie ».

Certains déchets radioactifs, comme ceux issus des applications médicales, sont considérés comme ayant une « vie courte », c'est-à-dire que l'on estime à quelques centaines d'années la durée de leur décroissance radioactive, période au terme de laquelle ils ne présenteront en principe plus de danger. Mais d'autres types de déchets, comme les radioéléments résultant du retraitement des combustibles irradiés, ont en revanche une durée de vie qui peut parfois excéder plusieurs centaines de milliers d'années. La toxicité de ces déchets est telle qu'un transfert de ces matières radioactives jusqu'à l'homme durant ces périodes très longues aurait des conséquences radiologiques néfastes. Toute la question a donc été de savoir comment se protéger de ces déchets et les stocker de manière sûre pendant des milliers d'années.

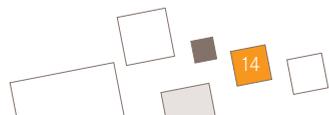
Question redoutable, en vérité, et cela pour au moins deux raisons. D'une part, les possibilités de confinement technologique présentent une viabilité limitée sur le très long terme ; leur durée de vie est en tout cas bien inférieure à celle des déchets nucléaires. Ces derniers auront beau être conditionnés, vitrifiés, enrobés, placés dans des colis de manière à ralentir leur dispersion, rien n'y fera : tôt ou tard l'érosion aura accompli son œuvre et les radionucléides seront inexorablement libérés. D'autre part, pendant tout ce temps, ces dépôts de matières dangereuses nécessiteront une surveillance institutionnelle constante, ce qui représente non seulement une lourde charge pour les générations futures, mais suppose en outre que ces dernières soient bel et bien capables de conserver la mémoire des sites de stockage et de les surveiller sur des durées aussi longues. Hypothèse fragile aux yeux des scientifiques qui se penchent sur cette question épineuse du stockage des déchets nucléaires, lesquels ne cessent au contraire de répéter que ce serait folie douce de miser sur la « stabilité des institutions sociales » sur de telles échelles de temps.

Pour garantir le confinement des déchets nucléaires pendant des milliers d'années, il fallait donc trouver quelque chose de plus robuste et durable que les matériaux de conditionnement disponibles, quelque chose qui soit également plus « stable » que la

« société », en tout cas moins imprévisible que le comportement des générations futures. De là provient l'idée d'utiliser les capacités de confinement offertes par certaines formations géologiques connues pour leur grande stabilité, et d'emprisonner les déchets dans un « coffre-fort géologique » situé à 500 mètres de profondeur et dont la principale vertu serait de pouvoir résister à l'épreuve du temps. La structure géologique constituerait alors un piège, isolant les déchets de l'environnement une fois les colis détruits par l'érosion. Le concept de stockage géologique était né.

Si ce concept n'éradiquait pas complètement les incertitudes engendrées par la temporalité vertigineuse des déchets nucléaires, il avait néanmoins le mérite de simplifier considérablement les données du problème. En effet, grâce au stockage en profondeur, il devenait possible de *déconnecter* la problématique de la sûreté à long terme des stocks de déchets nucléaires des aléas de l'histoire, de tout ce qui se passe « en surface », et en définitive d'y échapper. Toutes les incertitudes liées à l'évolution historique des institutions et au comportement des générations futures pouvaient être traduites en incertitudes d'une autre nature et considérées comme étant beaucoup moins rétives à la prévision : celles portant sur le comportement des formations géologiques. Cette transformation, ou encore cette « condensation » des incertitudes (Shackley et Wynne, 1996), permettait de passer d'une situation d'*indétermination*, dans laquelle l'avenir était totalement ouvert et imprévisible, à une situation de *risque*, dans laquelle les incertitudes sur l'avenir pouvaient au contraire être cernées et maîtrisées par le truchement de calculs, de modèles prédictifs et d'extrapolations scientifiques.

Peut-être convient-il ici d'insister sur la distinction entre ces deux situations, et surtout sur ce que suppose le passage de l'une à l'autre. La notion de risque est aujourd'hui si galvaudée que nous perdons trop souvent de vue ce qui l'oppose à celle d'incertitude radicale ou d'indétermination. Dans une situation d'incertitude radicale, rappelons-le, on ignore la liste des « mondes possibles » à $t+1$, et *a fortiori* les probabilités d'occurrence qui sont attachées à chacun de ces mondes. Une situation de risque suppose quant à elle que la liste des mondes possibles à $t+1$ soit connue et que l'on puisse affecter à chacun de ces mondes possibles des probabilités d'occurrence. Passer de l'incertitude au risque suppose donc deux types d'opération : d'une part, définir et arrêter la liste des mondes possibles et, d'autre part, calculer leur probabilité d'occurrence. Lorsque la question du risque est évoquée, nous ne retenons souvent que le second type d'opération, le calcul des probabilités, alors que le premier type d'opération est beaucoup plus lourd de conséquences : il s'agit en effet d'un *cadrage* particulièrement vigoureux puisqu'il conduit à *fermer* la liste des mondes possibles au profit d'états du monde connus et « pertinents » du point de vue du calcul des probabilités, cela au détriment de mondes possibles encore inconnus, indéfinis parce que non imaginés ou inimaginables, ainsi que de mondes possibles imaginables mais rétifs au calcul.



C'est bien ce genre d'opération que réalise l'orientation vers un concept de stockage géologique, puisqu'à une infinité de mondes possibles il substitue deux situations parfaitement identifiées et pouvant faire l'objet de prévisions : soit les formations géologiques sont stables à long terme, soit elles ne le sont pas. En choisissant une formation géologique adéquate, il est possible de rendre très probable l'occurrence de la première situation de faire en sorte que le risque soit négligeable.

Le recours à la géologie n'avait pas seulement pour conséquence de passer d'une situation d'indétermination à une situation de risque. Il conduisait également à fixer l'identité des « propriétaires du problème », pour reprendre la fameuse formule de Gusfield (1981). Puisque la charge consistant à isoler les déchets nucléaires était *déléguée* à des structures géologiques, seuls leurs « porte-parole » devenaient habilités à se prononcer sur la question. Faire preuve de *confiance* à l'égard de ce coffre-fort géologique supposait de faire confiance à ceux qui étaient en mesure de parler en son nom et de prédire son comportement, c'est-à-dire en premier lieu les géologues.

Le programme de l'isolement complet des déchets nucléaires devait cependant rencontrer de nouveaux « antiprogrammes » (Latour, 1992) dont il allait bien falloir tenir compte. Parmi eux, la possibilité d'une rencontre inopinée des générations futures avec les déchets stockés en profondeur, à l'occasion, par exemple, d'une exploitation du sous-sol, scénario qui venait remettre en cause la radicale déconnexion opérée entre la « surface » et la « profondeur ». Comment, le cas échéant, les avertir du danger ? Nombreux sont les spécialistes qui se sont alors penchés sur cette question de communication intergénérationnelle, en essayant d'imaginer des messages d'alerte universels, des marqueurs susceptibles d'être compris par des générations futures utilisant un langage différent du nôtre (Nolin, 1993 ; Lomborg et Hora, 1997). Mais l'inconvénient de ce genre de réflexion est qu'elle obligeait à se perdre à nouveau en conjectures sur les capacités de ces générations futures alors même que le but du stockage géologique était de s'en affranchir. C'est pourquoi d'autres méthodes permettant d'intégrer cet antiprogramme ont été privilégiées : d'abord opter pour des formations géologiques dont on ne voit pas très bien quel intérêt elles pourraient représenter dans le futur – le granite ou l'argile, par exemple, plutôt que des formations salines ; ensuite empêcher par tous les moyens l'accès au site géologique, le fermer définitivement, de manière *irréversible*, ceci afin d'empêcher les générations futures d'y accéder et cela pour leur propre sécurité. Protéger les humains des déchets revenait à protéger les déchets des humains en empêchant que leur sanctuaire puisse être violé par une intrusion accidentelle. Cette solution de stockage irréversible avait en outre le mérite de répondre à un autre antiprogramme, celle d'une intrusion non plus accidentelle mais malveillante, c'est-à-dire ayant pour but de récupérer les matières radioactives stockées en profondeur pour les utiliser

comme des armes. À cet égard, l'intérêt d'une fermeture irréversible du site était non seulement de pouvoir *se permettre d'oublier* sans dommage les déchets, mais plus encore de *favoriser cet oubli* : plus vite la mémoire du site serait perdue, moins grand serait en effet le risque de son exploitation à des fins militaires ou terroristes. Lors d'un débat parlementaire sur la question en 1991, cet argument fut bien résumé par le ministre de l'Industrie de l'époque, Dominique Strauss-Kahn :

« Si l'on veut éviter que, dans cinq cents ans, mille ou deux mille ans, quelque terroriste du moment ne récupère à des fins criminelles ces déchets, il n'est pas aberrant de concevoir que ces derniers, s'ils doivent un jour être enfouis, doivent l'être de manière irréversible, c'est-à-dire de telle façon qu'on ne sache plus exactement où se trouvent les sites. »

Journal officiel des Débats, Sénat, 6 novembre 1991, p. 3 555

Loin d'être une idée farfelue, le concept de stockage géologique irréversible répond donc à des problèmes précis. Il apparaît comme le fruit d'un lent travail de problématisation technique, c'est-à-dire la transformation de problèmes de natures diverses en défis susceptibles de trouver une réponse grâce à la technologie. En offrant enfin, après plusieurs décennies de discussions et de recherches scientifiques, une solution jugée « raisonnable » au problème, le stockage géologique irréversible pouvait répondre à des considérations éthiques concernant l'équité entre les générations : comme le rappelait en 1995 un comité d'experts réunis sur le sujet par l'Agence de l'Organisation de coopération et de développement économiques pour l'énergie nucléaire,

« du point de vue de l'éthique et de la sûreté à long terme, l'évacuation définitive [i.e. le stockage géologique irréversible] nous permet de mieux nous acquitter de nos responsabilités à l'égard des générations futures que des solutions d'entreposage provisoire qui sont synonymes de surveillance et de transmission de la responsabilité à long terme des déchets aux générations futures, et peuvent, finalement, être négligées par les sociétés de demain dont on ne peut préjuger de la stabilité. »

Agence pour l'énergie nucléaire-OCDE, 1995, p. 8

Si cette solution pouvait être équipée de qualités morales, elle présentait également des qualités politiques certaines au regard d'une conception traditionnelle de la décision publique en situation d'incertitude. D'une part, l'appui sur la géologie rendait possible une prise de décision *rationnelle*, c'est-à-dire fondée sur des calculs de risque permettant de contourner et de réduire cette incertitude, une décision légitimée par la compétence des savants. D'autre part, le caractère irréversible du stockage s'accordait avec l'idée selon laquelle l'action publique permet de « résoudre » les problèmes², et ce, en l'occurrence, de manière définitive. À la temporalité longue des déchets nucléaires, elle offrait la possibilité d'opposer la temporalité courte d'une

² Pour une critique de cette conception de l'action publique, voir Muller et Surel, 1998.



décision ayant pour effet de régler la question ici et maintenant, *une fois pour toutes*. En somme, le stockage géologique rendait possible une « décision tranchée » (Callon, Lascoumes et Barthe, 2001), indiscutable et irrévocable, sur laquelle il ne serait par conséquent pas nécessaire de revenir par la suite.

Solution robuste en apparence, le stockage géologique irréversible reflétait, tout en l'autorisant, un mode de gouvernement bien spécifique des situations d'incertitude créées par les externalités du développement des sciences et des techniques. Mais il n'en reste pas moins que cette solution ne devait sa solidité et sa cohérence qu'à la réunion de plusieurs conditions impératives. D'une part, nous l'avons vu, elle nécessitait d'accepter un mécanisme de délégation et de se montrer confiant envers la capacité des scientifiques à prévoir le comportement des formations géologiques sur le long terme. D'autre part, elle imposait que la sélection des états du monde possibles autorisant de telles prévisions ne soit pas discutable. En d'autres termes, il fallait non seulement miser sur la stabilité des formations géologiques mais, au-delà, sur la stabilité de toutes les entités composant ce monde possible et souhaité : en l'occurrence des générations futures incapables de surveiller et de proposer d'autres méthodes de traitement, et de toute façon rétives à l'idée d'avoir à gérer cet héritage encombrant. Que l'une de ces conditions ne soit pas remplie et la fragilité de ce dispositif technologique apparaîtrait aussitôt. Que des doutes puissent être exprimés au sujet du comportement des formations géologiques ou de celui des générations futures, et la belle cohérence du stockage géologique irréversible et du modèle de décision qu'il renferme serait remise en question.

C'est exactement ainsi que les choses se déroulèrent lorsque ce projet de stockage géologique irréversible passa au stade de la mise en œuvre.

Le stockage géologique réversible, ou le modèle de la « décision par étapes »

Il n'est pas dans mon intention de décrire ici de manière détaillée les conflits qui, à partir du milieu des années 1980, entourent la mise en œuvre des projets de stockage géologique irréversible. Dans le cadre de cet exercice de sociologie politique des techniques, je me contenterai d'analyser le type de critiques essuyées par ce concept et les déplacements auxquels elles conduiront, avec notamment l'invention d'un nouveau dispositif technologique, celui de *stockage géologique réversible*.

La critique du stockage géologique irréversible s'est déployée suivant deux axes. Le premier concerne l'évaluation du risque de ce mode de gestion. En 1987, lors des premières réunions publiques d'information organisées sur les sites présélectionnés en vue d'un stockage, l'un des principaux porte-parole de l'Agence nationale pour la

gestion des déchets radioactifs (Andra) présente le projet de la manière suivante : « L'homme est incapable de garantir une sécurité absolue. La stabilité du sol datant de plusieurs centaines de milliers d'années, les scientifiques ont le droit d'extrapoler pour dire que le sol ne bougera pas dans les cent mille ans à venir³. » C'est précisément ce droit à l'extrapolation qui est d'abord été remis en cause par les opposants au stockage géologique. Ces derniers ont dénoncé alors la prétention scientifique à prévoir le comportement de formations géologiques pendant des milliers d'années et à énoncer des certitudes sur le sujet. N'est-il pas quelque peu présomptueux d'affirmer que le risque peut être tenu pour négligeable alors que les durées en jeu sont considérables ? À travers cette critique, c'est donc la possibilité de calculer le risque, d'affecter des probabilités à différents scénarios qui se trouve questionnée. Cette critique va connaître un prolongement dans des querelles d'experts à propos de la robustesse des modèles prédictifs et des paramètres à prendre en considération. Elle conduit d'ailleurs les défenseurs du stockage géologique à améliorer leurs méthodes, à sophistiquer leurs analyses, dans l'espoir de démontrer la pertinence du dispositif et de retisser un lien de confiance mis à mal.

Mais un second type de critiques du stockage géologique, plus subversives en un sens, allait également s'exprimer. La cible principale n'était plus la possibilité de calculer le risque mais l'intérêt même de ce genre de calcul. Le problème soulevé était celui du « cadrage » que nécessite cette opération de « mise en risque », se traduisant généralement par l'exclusion de certains états du monde possibles, rétifs aux calculs probabilistes. C'est ainsi que se posa la question de l'intérêt éventuel que pourraient avoir les générations futures à conserver la possibilité de reprendre à tout moment les déchets nucléaires. Pourquoi, en effet, ne pas faire l'hypothèse selon laquelle ces générations futures bénéficieront un jour de plus amples connaissances, de moyens technologiques performants et supérieurs aux nôtres, et qu'elles seront en mesure, par exemple, de *détruire* ces déchets, voire de les valoriser sur le plan industriel ? Ne faut-il pas, dans ce cas, leur laisser la possibilité de le faire ? Une telle hypothèse revenait à réintroduire dans le débat une philosophie de l'histoire, celle du progrès, que le concept de stockage géologique irréversible avait résolument écartée. L'incertitude du très long terme, jusqu'ici pensée exclusivement sous l'angle d'une menace, devenait synonyme d'espoir. C'est cette philosophie de l'histoire qui faisait dire à certains riverains concernés que « l'évolution de la technologie nous fera regretter l'enterrement définitif des déchets. Enfouir les déchets, c'est antiscientifique⁴ ».

³ Cité par J.-P. Pagès, B. Bermann et J.-N. Ponzevera, *Sur les problèmes politiques et sociaux posés par le stockage des déchets radioactifs de haute activité : les controverses locales entre 1987 et 1990*, Note SEGP-LSEES, CEA, janvier 1991.

⁴ Cf. « Dossier réalisé par les habitants des Deux-Sèvres destiné à Monsieur le Premier ministre », 30 octobre 1989, p. 12-14, cité dans « Les déchets nucléaires : un problème mondial », dossier constitué par J.-P. Schapira, *Problèmes politiques et sociaux*, n° 649, 1991, p. 40-41.



Ce débat à fronts renversés mettait les scientifiques et les ingénieurs qui défendaient le projet dans une position intenable : ils se voyaient contraints de réclamer une confiance dans la science tout en justifiant le principe d'irréversibilité au nom d'une perplexité quant aux avancées possibles de la recherche.

En même temps qu'elle contribuait à retourner la légitimité scientifique du projet contre lui-même, cette hypothèse d'un progrès des connaissances et des techniques ruinait également son armature morale. Car explorer sérieusement ce scénario conduisait inévitablement à rouvrir le débat sur la responsabilité morale des générations présentes vis-à-vis des générations futures. Le stockage géologique irréversible des déchets nucléaires permettait certes de ne pas laisser cet héritage à nos descendants, mais du même coup il les privait aussi de ce bien précieux qu'est la liberté de choisir. Or, c'est bien cette liberté de choix qu'il convenait surtout de préserver si l'on voulait que les générations futures puissent, le cas échéant, reprendre les déchets stockés pour leur trouver une autre destination. En un mot, il fallait privilégier une solution *réversible*.

Coup dur pour le stockage géologique irréversible et pour tous ses promoteurs, c'est-à-dire pour la très grande majorité des experts de la question. D'autant plus qu'au fil du temps, les choses n'allaient pas s'arranger. En décembre 1991, à l'issue des premiers conflits suscités par le projet, le vote d'une loi reporte la décision définitive au profit d'un programme de recherches de quinze ans faisant place à l'étude d'autres options, dont celle d'un stockage réversible. Toutefois, au sein de ce programme de recherche, l'enfouissement irréversible fait toujours figure de solution dominante. Mais, au cours des années 1990, les campagnes de prospection menées en vue de sélectionner de nouveaux sites favorables au stockage géologique se heurtent de nouveau à des revendications en faveur de la réversibilité. Cette exigence est alors relayée au niveau national par les élus des territoires concernés, qui réclament une révision de la loi afin d'interdire l'irréversibilité, puis bientôt par certains ministres. Et elle finit par s'imposer : en décembre 1998, le Gouvernement annonce par un communiqué que la politique de gestion des déchets nucléaires s'inscrit désormais clairement dans une logique de réversibilité, rappelant au passage que « la condition de l'acceptabilité des décisions tient à leur réversibilité » et qu'il est « capital que les générations futures ne soient pas liées par les décisions déjà prises et puissent changer de stratégie au vu des évolutions techniques et sociologiques intervenues⁵ ».

Cette redéfinition de la politique de gestion des déchets nucléaires signifie-t-elle l'abandon du stockage géologique ? C'est ce que l'on pourrait penser de prime abord, étant donné que ce dispositif est entièrement conçu pour permettre un isolement définitif des déchets interdisant par définition toute possibilité ultérieure de reprise.

Cependant, et de manière surprenante, le concept de stockage géologique va résister, amortir le choc, mais pas sans une redéfinition de ses paramètres afin d'intégrer cette nouvelle contrainte : il n'est plus question d'enfouissement irréversible, mais de *stockage géologique réversible*.

Les ingénieurs et les scientifiques de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs vont modifier la conception technique du projet de stockage pour rendre possible une reprise ultérieure des déchets. Ils redoublent d'efforts afin de garantir la réversibilité et suivre ainsi l'injonction gouvernementale. Dire que cette réorientation s'effectue de gaieté de cœur serait très exagéré : ils sont fidèles à une conception de la sûreté héritée du concept précédent et fondée sur l'irréversibilité, et la réversibilité leur apparaît parfois comme une contrainte qui vient non seulement compliquer les choses, mais qui n'a pas vraiment de sens sur le plan de la sûreté. La réversibilité est d'ailleurs souvent qualifiée de « contrainte sociale », une contrainte avec laquelle il faut bien composer, même si c'est de mauvaise grâce, afin que les projets puissent être acceptés. Le concept de stockage géologique réversible sera donc appréhendé comme un compromis utile, en ce qu'il permet surtout d'améliorer l'acceptabilité sociale du dispositif.

Mais, pour les promoteurs de ce dispositif, il va de soi que ce compromis ne peut être que provisoire. Encore une fois, le principe de réversibilité est fondamentalement contraire au concept de stockage géologique à long terme : en suivant ce principe jusqu'au bout, on perd tous les avantages associés à cette solution, notamment le droit à l'oubli qu'elle procure et la dispense qu'elle autorise au sujet de la surveillance après la fermeture définitive. Aussi la réversibilité d'un stockage géologique ne peut-elle être que *limitée dans le temps*, et c'est donc le concept initial, celui de stockage définitif et irréversible, qui devra avoir à terme le dernier mot. Et cela, répétons-le, par principe même. Pas seulement cependant : il apparaît en effet que les dégradations liées à l'évolution du milieu géologique et des colis qui y sont stockés ainsi que d'autres problèmes, comme celui de l'émission d'hydrogène ou de la présence d'eau, rendent *a priori* difficile, voire impossible, l'application du principe de réversibilité à long terme. La reprise éventuelle des déchets sera de plus en plus délicate à entreprendre, voire de moins en moins possible au fur et à mesure que le temps s'écoulera. Sauf à bénéficier, au cours des deux ou trois siècles à venir, de nouvelles découvertes qui permettraient de se passer d'un tel dispositif, le stockage géologique réversible se transformera petit à petit, par étapes successives, en stockage géologique irréversible.

Dans ce cas, dira-t-on, que change réellement ce nouveau concept de stockage géologique ? La question est légitime puisque les remarques qui précèdent donnent une curieuse impression de retour à la case départ. Si le changement n'est certes pas révolutionnaire, il a pourtant son importance. Notons d'abord que cette période de

⁵ Relevé de conclusions de la réunion interministérielle du 9 décembre 1998 sur les questions nucléaires (aval du cycle et transparence nucléaire).



réversibilité, même si elle est bornée, ouvre tout de même une parenthèse de quelques siècles. Ce temps peut être mis à profit pour surveiller *in situ* le comportement des formations géologiques et des colis de déchets, vérifier l'adéquation des modèles prédictifs et intervenir au cas où des problèmes viendraient à apparaître. Par ailleurs, pendant tout ce temps, et à condition que les recherches sur la question se poursuivent, il n'est pas interdit de penser que de nouvelles découvertes scientifiques verront le jour. Elles pourront être exploitées pour définir des solutions alternatives et envisager d'autres états du monde possibles. Autrement dit, si le stockage géologique irréversible barre toujours largement l'horizon, il ne bouche plus totalement la vue. Mais l'apport de ce dispositif tient surtout au caractère progressif de la démarche. La fermeture définitive de l'accès aux centres de stockage en profondeur, si fermeture il y a, se fera par paliers successifs et ce n'est que très progressivement que les contours du dispositif final vont se dessiner. La qualité politique de ce dispositif technologique est ainsi de permettre une prise de « décision par étapes ». À chaque étape il devient cependant possible de mettre un terme au processus, voire de revenir à l'étape précédente et, en tout cas, de rediscuter de l'intérêt de passer à l'étape suivante. Pour parler comme les psychologues sociaux et certains sociologues des organisations, il s'agit d'une sorte d'« escalade d'engagement », mais organisée et maîtrisée, qui limitera progressivement l'éventail des possibles. À la temporalité courte de la « décision tranchée » s'oppose ici la temporalité longue d'un processus de décision qui se veut davantage adapté aux durées engagées par la problématique des déchets nucléaires. Le problème ne pourra certes plus être présenté comme ayant été réglé « une fois pour toutes », mais seulement comme étant « en voie de règlement ». Cette temporalité longue est censée permettre de *dédramatiser* la décision et de construire pas à pas son acceptabilité. La différence avec le modèle précédent, et elle est essentielle, tient au fait que cette acceptabilité repose sur l'évaluation, répétée à chaque étape, du dispositif et de son évolution. La discussion de toutes les microdécisions qui viendront jaloner ce processus par étapes est la condition de la bonne marche des choses. Ainsi, si le modèle de la décision tranchée renvoie clairement à une conception « délégative » de la démocratie, ce modèle de la décision par étapes constitue un pas important en direction d'une démocratie « dialogique » (Callon, Barthe et Lascoumes, 2001/2009).

Les choses ne sont toutefois pas aussi simples car ce nouveau concept technologique n'est pas sans fragilité. Dispositif hybride, respectant la réversibilité sur le court terme mais privilégiant tout de même l'irréversibilité sur le long terme, il tient sa force dans sa capacité à articuler ces deux principes radicalement opposés. Mais il faut bien voir que cette articulation repose dans une grande mesure sur un bricolage intellectuel très vulnérable à la critique. Par exemple, le sentiment existe parfois que certaines entités qui composent le « monde » de ce dispositif se voient équipées d'intérêts et de désirs qui sont programmés pour se métamorphoser brusquement avec le temps : en effet, dans le cas où le processus aboutit à une fermeture définitive du site, les générations futures sont ainsi supposées désireuses de conserver une liberté de choix,

et, par conséquent, une possibilité de reprise des déchets – ce qui justifie la réversibilité – puis, après un certain temps (en l'occurrence au bout de trois cents ans), elles sont au contraire supposées en avoir assez de supporter la charge de la surveillance des dépôts, désireuses de confier cette corvée aux formations géologiques et prêtes pour cela à renoncer à leur liberté de choix. Avouons que la logique de ce raisonnement n'est pas tout à fait évidente. Mais il y a plus : la réversibilité du stockage géologique, c'est-à-dire la possibilité de revenir en arrière et de récupérer les déchets, est non seulement limitée dans le temps mais elle est aussi, *dégressive* : plus le temps va passer, moins cette récupération sera possible pour finir par être quasiment impossible. Or, il nous est loisible d'imaginer que c'est précisément avec le temps que cette réversibilité deviendra particulièrement intéressante : si des efforts de recherche adéquats sont consentis, les chances de disposer de méthodes alternatives pour traiter les déchets risquent en effet d'augmenter au fil des années. Par conséquent, le paradoxe est ici que plus des méthodes innovantes seront disponibles et intéressantes, moins elles seront utilisables. Enfin, le modèle de la décision par étapes auquel correspond ce concept technologique n'est pas sans faiblesses lui non plus. Attendre une dédramatisation de la décision grâce à cette démarche progressive revient à supposer un peu trop vite que toutes les étapes se valent, c'est-à-dire que toutes les microdécisions qui seront prises tout au long du processus ont le même poids, enferment le même degré d'engagement et correspondent au même degré de fermeture. Or, nul besoin d'être amateur de cyclisme pour savoir que toutes les étapes ne se valent pas, et l'on peut fort bien imaginer que certaines de ces microdécisions revêtiront un caractère plus dramatique que d'autres, qu'elles seront plus engageantes, et de ce fait plus susceptibles de cristalliser des oppositions. C'est le cas, en particulier, de l'ultime étape, celle de la fermeture définitive du site de stockage en profondeur, qui viendra clôturer un processus qui pouvait jusque-là se présenter comme étant au contraire ouvert. En somme, il est possible de se demander si la décision par étapes ne fait pas que retarder une décision finale qui sera par la force des choses une « décision tranchée », avec les inconvénients politiques qu'on lui connaît, et si tout cela ne revient pas à reculer pour mieux sauter. C'est du reste ce que semblent très bien avoir compris les opposants au stockage géologique, lesquels n'ont de cesse d'agiter le chiffon rouge de l'étape ultime du processus afin d'annuler la dédramatisation escomptée de cette approche progressive de la décision.



L'entreposage en surface « pérennisé », ou le modèle de la « décision itérative »

Même si cela ne se voit pas et ne se dit pas, il y a en réalité un point sur lequel s'entendent les opposants, même les plus farouches, au stockage géologique, et ses partisans les plus acharnés : la logique de la réversibilité, comme nous l'avons vu, s'accorde mal avec celle de l'enfouissement. Ce qui diffère chez les uns et les autres, c'est plutôt la manière de traiter ce désaccord fondamental et d'en tirer des conséquences. Pour les partisans du stockage géologique, dont une nouvelle loi votée en 2006 a rappelé qu'il constituait toujours la solution « de référence », cette contradiction peut être gérée à condition que la réversibilité soit transitoire, limitée dans le temps. Le mariage peut être envisagé dès lors qu'il s'agit d'un mariage blanc. Pour les opposants au stockage, c'est justement parce qu'il est blanc que ce mariage doit être dénoncé, et c'est au contraire au divorce immédiat que doit conduire la reconnaissance de cette antinomie entre réversibilité et stockage géologique. Pour les uns, la logique de la réversibilité est hiérarchiquement seconde par rapport à la sûreté que doit procurer à terme l'irréversibilité du stockage. Pour les autres, la hiérarchie est inversée : c'est de l'impératif de réversibilité qu'il faut partir, et réfléchir ensuite aux dispositifs technologiques qui le respectent le mieux.

Dans les débats qui entourent cette question du devenir des déchets nucléaires, les opposants au stockage géologique vont ainsi s'efforcer de « radicaliser » l'exigence de réversibilité au point qu'elle ne soit plus supportable pour le stockage géologique. Retournant contre eux-mêmes les discours des responsables politiques et des opérateurs du nucléaire qui vantent désormais le caractère souple de la démarche et l'idée de réversibilité – sans trop insister cependant sur son caractère limité –, ils vont poser les questions suivantes : si c'est bien cette logique de réversibilité dans laquelle vous souhaitez vous inscrire, pourquoi privilégier une solution valable sur une durée limitée ? Et s'il s'agit bien de se donner la possibilité de reprendre les déchets, pourquoi diable se compliquer inutilement la tâche en les déposant à 500 mètres de profondeur ? Ne conviendrait-il pas au contraire de les avoir plus facilement sous la main et, plutôt que de les enfouir, de les *entreposer en surface* ?

À vrai dire, ce concept d'entreposage en surface n'a rien d'une nouveauté puisqu'il est déjà mis en œuvre depuis longtemps par l'industrie nucléaire. En effet, les déchets « à vie longue » sont pour l'instant entreposés en surface. Il s'agit seulement d'un entreposage *provisoire*. À l'heure qu'il est, les résidus les plus fortement radioactifs, par exemple, profitent en effet de piscines dites de « refroidissement » et de bains quotidiens destinés à faire baisser leur charge thermique et à rendre ainsi possible leur manutention et leur stockage définitif. Après avoir goûté aux bienfaits de cette

cure pendant plusieurs dizaines d'années, leur destin est tout tracé : ils pourront gagner les profondeurs des couches géologiques et y reposer pour l'éternité. Aussi cet entreposage est-il un dispositif d'attente, préalable au stockage géologique, et il ne s'agit en aucun cas d'une « vraie » solution qui lui serait alternative. Or, c'est précisément ce que réclament les opposants au stockage géologique, c'est-à-dire que ce dispositif d'entreposage en surface change de statut et qu'il accède au rang de solution pleine et entière permettant d'écarter la perspective d'un enfouissement. Solution provisoire, l'entreposage en surface ? Qu'à cela ne tienne, il s'agira simplement de *faire durer* ce provisoire, de s'en accommoder, de ne pas lui assigner de limite temporelle, et d'envisager, pour reprendre le vocabulaire en vigueur, un *entreposage en surface « pérennisé »*.

Cette proposition d'entreposage pérennisé, qui a été clairement formulée à l'issue des débats organisés sur le sujet en 2006 par la Commission nationale de débat public, heurte tellement les postulats en vigueur dans la gestion des déchets nucléaires que les responsables de cette politique éprouvent généralement les plus grandes difficultés à la considérer avec sérieux. Ils évoquent immédiatement deux problèmes qui semblent rédhibitoires. Premièrement, « faire durer le provisoire » d'un entreposage en surface ne se décrète pas : les possibilités de confinement de ce type d'installations sont limitées à long terme. Compte tenu des techniques disponibles, la viabilité de ce genre de stockage pour des déchets à haute activité ne peut guère être garantie au-delà d'une période de cent ans. Il est certes toujours possible de chercher à allonger cette période, mais les fuites apparaîtront tôt ou tard. Deuxièmement, envisager ce dispositif sous l'angle d'une solution pérenne pose à nouveau un problème que nous avons sans cesse croisé dans les pages qui précèdent : cela reviendrait en effet à fonder la sûreté des installations sur les capacités de surveillance des générations futures et à parier sur cette fameuse « stabilité de la société ». Pari beaucoup trop risqué, l'histoire le montre, pour être raisonnablement envisagé. Bref, l'entreposage en surface ne saurait constituer une « solution » digne de ce nom.

L'argumentaire paraît convaincant, à première vue, mais à y regarder de plus près, il comporte un vice de forme. Car loin de se renforcer l'un l'autre, ces deux arguments s'annulent mutuellement. En effet, si l'on admet qu'un entreposage en surface ne peut avoir qu'une « durée de vie » limitée, en l'occurrence d'un siècle environ, il devient superflu de se projeter au-delà de cette période temporelle puisqu'au bout de cent ans le problème du destin des déchets nucléaires devra nécessairement être reposé. Autrement dit, il n'est nullement besoin de parier sur la stabilité de la société sur des milliers d'années puisque cette question ne se pose pas : il y a certes un pari, mais il ne concerne désormais que les cent ans à venir. Au terme de cette période, à charge pour les générations futures de décider de renouveler ou non ce pari pour les cent ans à suivre, c'est-à-dire de reconstruire ou non une installation en surface toute



neuve et viable, et ainsi de suite. Par conséquent, loin d'être une faiblesse, la durée de vie limitée et le caractère nécessairement provisoire de l'entreposage en surface sont justement ce qui fait sa force : ce dispositif présente en effet l'immense avantage de pouvoir s'abstenir de projections à très long terme, de s'autoriser une certaine myopie à cet égard, et de bannir toute forme de prophétie à propos du comportement des structures géologiques comme de celui des générations futures. Il suffit seulement de miser sur le fait que le dépôt de déchets sera correctement surveillé et que la mémoire du site sera conservée pendant la durée de vie de l'installation, c'est-à-dire un siècle. Il est certes toujours possible de mettre en doute ce postulat, mais dans ce cas il faudrait également envisager de renoncer à laisser la plupart des installations à risque en surface, et en premier lieu les centrales nucléaires.

Il est clair en tout cas que le concept d'entreposage en surface pérennisé autorise et s'appuie sur une nouvelle modalité de prise de décision et un nouveau mode d'action politique face à l'incertitude. Tandis que le stockage géologique irréversible et la décision tranchée avaient pour effet de fermer l'avenir et de sortir définitivement le problème de l'histoire, et tandis que le stockage géologique réversible et la décision par étapes conduisaient à ouvrir une parenthèse qui devait être refermée, l'entreposage pérennisé laisse quant à lui l'avenir indéterminé. Le modèle de décision que ce dispositif technologique dessine n'est ni celui de l'unique décision qui règle une fois pour toutes les choses, ni celui d'un enchaînement de microdécisions devant aboutir progressivement à une solution définitive, il correspond plutôt à un *open-ended process*, un processus qui n'a rien de linéaire mais qui devient cyclique, répétitif, et sans fin préalablement arrêtée : à intervalles réguliers, une décision devra être prise qui sera censée bénéficier d'un espace de possibles au moins aussi large que celui sur lequel s'est appuyée la décision antérieure. Dire que ce processus de décision, que j'appellerai « itératif », n'a pas de fin préalablement déterminée ne signifie cependant pas qu'il doit se poursuivre éternellement : il se peut fort bien qu'à un moment donné, dans un siècle, trois ou quinze, une décision soit prise qui vienne mettre un terme à ce mouvement cyclique. Mais une telle hypothèse, et là est le point important, demeure ouverte.

Comme les deux autres concepts, celui d'entreposage en surface pérennisé et le modèle de la décision itérative qu'il introduit ont également leurs limites et génèrent leurs propres contraintes. Puisque ce dispositif trouve sa justification principale dans le fait de laisser aux générations futures une liberté de choix, y compris celui qui consiste à interrompre l'itération, encore faut-il qu'un tel choix soit rendu possible, c'est-à-dire que des alternatives à l'entreposage soient explorées. Ce qui revient à affirmer la nécessité de poursuivre à long terme les recherches sur ces questions, notamment sur des procédés innovants qui permettraient de « détruire » définitivement les déchets. Cela représente non seulement des sacrifices financiers importants, dont il

est possible de se demander s'ils en valent la peine, mais réclame également d'entretenir les compétences dans ces domaines. En un mot : de renoncer à une éventuelle « sortie » du nucléaire. Par ailleurs, et toujours au nom de la transmission d'une liberté de choix, n'apparaît pas clairement pourquoi il faudrait priver les générations futures de la possibilité d'opter, le cas échéant, pour un stockage géologique, qu'il soit réversible ou irréversible. Dans cette perspective, et en toute logique, il devient nécessaire de poursuivre également les recherches sur ces options. Voilà qui n'aurait rien en soi de problématique ni de contradictoire si l'on omettait de rappeler que les principaux partisans de l'entreposage en surface pérennisé, et en particulier les associations antinucléaires, réclament par ailleurs l'abandon du recours à ce type d'énergie ainsi que celui des recherches relatives au stockage en profondeur. C'est la raison pour laquelle, au cas où ce dispositif venait à être sérieusement examiné, il n'est pas impossible d'assister à un nouveau débat à fronts renversés, où l'option de l'entreposage pourrait trouver de nouveaux défenseurs parmi les responsables de cette politique, lesquels lui ont été pourtant jusqu'ici très hostiles, et subir au contraire les assauts de ceux qui s'en sont fait initialement les porte-parole.

De simples choix « techniques » ?

Quelles que soient les suites de cette controverse et les décisions qui seront prises au sujet du devenir des déchets nucléaires, on peut convenir, au terme de cette analyse, qu'il serait réducteur de qualifier ces décisions de simples choix « techniques ». Politiques, ces décisions le seront à double titre. Elles le seront d'abord, comme le montrerait une analyse classique des processus décisionnels et comme les pages qui précèdent le laissent entrevoir çà et là, parce qu'elles résulteront de rapports de force, de conflits d'intérêts et de négociations entre les différents acteurs qui prennent part aux discussions sur le sujet. Mais elles le seront également, et c'est ce sur quoi j'ai voulu mettre l'accent ici, en privilégiant une approche de sociologie politique des techniques, parce qu'elles porteront sur des dispositifs qui enferment une définition de ce que décider veut dire. Opter pour l'une ou l'autre des solutions proposées, en effet, c'est indissociablement choisir un mode de traitement technique des déchets nucléaires et tracer les contours d'un style décisionnel face à l'incertitude liée au long terme. Ces deux niveaux sont à ce point enchevêtrés qu'il serait vain de vouloir les séparer dans l'analyse, et c'est à l'examen minutieux de cet enchevêtrement que devrait conduire l'affirmation selon laquelle les « techniques ne sont pas neutres », plutôt que d'être avancée comme un postulat justifiant que l'on s'intéresse à tout sauf, précisément, aux dispositifs techniques eux-mêmes.



L'enjeu de ces manières contrastées d'appréhender les liens entre technique et politique n'est évidemment pas seulement théorique. Il en va de la contribution possible des sciences sociales aux débats sur les choix techniques et à la critique dans ces domaines. Accepter, comme c'est encore souvent le cas, de limiter cette contribution à la discussion des modalités de l'expertise et de la décision sans se préoccuper outre mesure des « aspects techniques » des questions qui font l'objet de controverses, c'est bien souvent se condamner à parler dans le vide. Car à quoi bon s'interroger sur les procédures de décision quand celles-ci sont déjà pour une bonne part fixées par les caractéristiques des dispositifs techniques ? Dans ces situations, c'est donc à l'explicitation de ces caractéristiques qu'il s'agit en premier lieu de s'atteler si l'on veut contribuer à rendre discutables les choix. Loin de renvoyer à une entreprise de dévoilement d'intérêts cachés, l'apport des sciences sociales réside alors surtout dans leur capacité à clarifier les dispositifs techniques, en montrant les hypothèses qu'ils enferment et en articulant les critiques qu'ils suscitent.

Bibliographie

AEN, 1995, *Les fondements environnementaux et éthiques de l'évacuation des déchets radioactifs à vie longue en formations géologiques. Opinion collective du Comité de gestion des déchets radioactifs de l'Agence de l'Organisation de coopération et de développement économiques pour l'énergie nucléaire*, Paris, OCDE.

AKRICH Madeleine, 1987, « Comment décrire les objets techniques ? », *Techniques & Culture*, n° 9, p. 49-64.

AKRICH Madeleine, 1989, « La construction d'un système sociotechnique. Esquisse pour une anthropologie des techniques », *Anthropologie et Sociétés*, vol. 13, n° 2, p. 31-54.

BARTHE Yannick, 2006, *Le pouvoir d'indécision. La mise en politique des déchets nucléaires*, Paris, Economica.

BARTHE Yannick, CALLON Michel et LASCOUMES Pierre, 2009, « La decisione politica reversibile. Storia di un inatteso contributo dell'industria nucleare (francese) all'instaurazione della democrazia dialogica », *La Rivista delle Politiche Sociali*, n° 3, p. 47-69.

CALLON Michel, LASCOUMES Pierre et BARTHE Yannick, 2001, *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*, Paris, Le Seuil. Traduit en anglais en 2009 chez MIT Press, Cambridge Mass., avec le titre *Acting in an Uncertain World : An Essay on Technical Democracy*.

GUSFIELD Joseph R., 1981, *The Culture of Public Problems. Drinking-Driving and the Symbolic Order*, Chicago, Chicago University Press.

LATOUR Bruno, 1992, *Aramis ou l'amour des techniques*, Paris, La Découverte.

LATOUR Bruno, 1993, *La clef de Berlin et autres leçons d'un amateur de sciences*, Paris, La Découverte.

LOMBERG Jon et HORA Stephen C., 1997, « Very long term communication intelligence. The case of markers for nuclear waste sites », *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 56, n° 2, p. 171-188.

MULLER Pierre et SUREL Yves, 1998, *L'analyse des politiques publiques*, Paris, Montchrestien.

NOLIN Jan, 1993, « Communicating with the future. Implications for nuclear waste disposal », *Futures*, vol. 25, n° 7, p. 778-791.

SHACKLEY Simon et WYNNE Brian, 1996, « Representing uncertainty in global climate change science and policy: boundary-ordering devices and authority », *Science, Technology, and Human Values*, vol. 21, n° 3, p. 275-302.

WINNER Langdon, 1986, « Do artifacts have politics ? », *The Whale and the Reactor. A Search for Limits in an Age of High Technology*, L. Winner ed., Chicago, Chicago University Press, p. 19-39.



2

L'approche française de la réversibilité en matière de **gestion des déchets radioactifs**

Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs
(Andra)

L'approche française de la réversibilité en matière de gestion des déchets radioactifs

Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra)

Le projet de création d'un centre de stockage profond réversible, une démarche sociotechnique

Le cadrage juridique du concept de stockage réversible

L'introduction de la question de la réversibilité dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs est très ancienne. Elle était déjà débattue lorsque dans les années 1950 à 1970, les experts ont eu à comparer l'immersion en mer et le stockage à terre (Barthe, 2006). Le caractère irréversible de l'immersion a peut-être contribué à faire progressivement préférer le stockage : confiner des déchets à un endroit accessible à l'homme préserve une certaine réversibilité. Mais, aujourd'hui, la réversibilité est fondamentalement une demande sociale et politique. En France, elle se trouve fortement associée au projet de création d'un centre de stockage de déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (dits HA et MA-VL)¹ et s'inscrit dans une démarche de formalisation juridique spécifique.

La demande sociopolitique de réversibilité s'est progressivement concrétisée dans le cadre du processus d'études et de recherches mis en place par la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991, qui envisage « l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes » pour les déchets HA et MA-VL². Cette mission est confiée à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) qui, par la même loi, devient un établissement public indépendant, et à qui il est donné rendez-vous 15 ans plus tard pour examiner les résultats des recherches. C'est ainsi qu'en 2005 la faisabilité d'un stockage réversible profond dans une formation argileuse sera démontrée par l'Andra, notamment sur la base des expériences réalisées au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.

La prise en compte de la réversibilité dans la conception technique d'un centre de stockage profond se formalise davantage avec l'entrée en vigueur de la loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006³. Cette loi prévoit la poursuite des études et des recherches sur le stockage réversible en couche géologique profonde de telle sorte que la demande de son autorisation, précédée d'un débat public, puisse être instruite en 2015. Ensuite, et avant que l'autorisation de création ne puisse être

délivrée, une nouvelle loi devra fixer les conditions de la réversibilité. L'Andra doit ainsi concevoir un centre de stockage réversible avant qu'une nouvelle loi ne décide des conditions précises de réversibilité de ce centre⁴.

Ce cadrage juridique de la réversibilité définit un nouveau régime d'innovation pour l'Andra, dans lequel les solutions proposées se construisent progressivement au fil de l'engagement des parties. Pour qu'une décision puisse être prise, l'Agence doit trouver des compromis sociotechniques, des solutions robustes aussi bien sur le plan technique que social, et donc devenir un acteur majeur dans la configuration des choix possibles. À l'interface entre les domaines de la décision politique et de la conception scientifique et technique, la définition de la réversibilité ne peut se construire en effet que sur la base d'échanges entre les acteurs des deux domaines. Ce travail de construction collective, qui n'en est aujourd'hui qu'à un stade intermédiaire, doit servir de support à l'élaboration de la future loi qui déterminera les conditions de réversibilité du stockage profond.

Une définition par récurrence des conditions de réversibilité

La question de la réversibilité d'un centre de stockage profond des déchets radioactifs est loin d'être simple. La définition adoptée par l'Andra à ce stade - à l'issue du travail de médiation entre le technique, le politique et le social évoqué précédemment - porte sur la possibilité d'un pilotage progressif et évolutif du processus de stockage, laissant aux générations à venir une liberté de décision sur son déroulement. Si la réversibilité est étroitement liée à la capacité de récupérer les colis stockés, l'approche de l'Andra concerne surtout la capacité d'intervention sur le processus de stockage lui-même. Après les décisions de créer puis de mettre le centre en service, elle consiste à ouvrir la possibilité de plusieurs choix de gestion durant les étapes intermédiaires de son exploitation : poursuivre le stockage selon le schéma prédéfini, se donner les moyens d'une réévaluation, faire évoluer le stockage ou encore inverser le processus, jusqu'à récupérer les colis stockés.

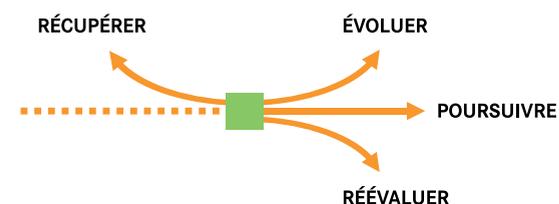


Figure 1 - Les choix de gestion possibles à chaque étape du processus de stockage

¹ Voir chapitre 3 dans ce même ouvrage.

² Loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs.

³ Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs.

⁴ La loi du 28 juin 2006 précise que la réversibilité du stockage devra être assurée, à titre de précaution, pendant une durée minimale qui ne pourra être inférieure à 100 ans.



Les moments de franchissement d'étape constitueront ainsi des rendez-vous entre le gestionnaire du stockage et les parties prenantes en vue d'évaluer les options disponibles à chaque stade, définissant ainsi une réversibilité « par récurrence » sur la base des décisions qui auront déjà été prises.

La capacité d'intervention sur le processus de stockage offre une flexibilité dans le temps pour le franchissement de chaque étape et facilite des réorientations techniques. Elle se traduit également par la possibilité donnée aux générations suivantes de mettre en œuvre des étapes intermédiaires de fermeture, tout en vérifiant qu'il resterait possible de récupérer des colis stockés après ces étapes. Enfin, elle offre la possibilité de faire évoluer la conception du stockage au fur et à mesure de sa mise en œuvre, en fonction des avancées de la recherche, du retour d'expérience et des progrès techniques. Par ailleurs, l'observation et la surveillance du stockage apportent des éléments sur le fonctionnement de l'installation et sur sa conformité aux prévisions, de manière à pouvoir réexaminer périodiquement les modalités de réversibilité.

■ L'exigence de sûreté passive comme principe fondateur du stockage géologique

L'objectif fondamental du stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde est, comme le rappelle le Guide de sûreté de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN, 2008), de protéger les personnes et l'environnement envers les risques liés à la dissémination de substances radioactives et de toxiques chimiques. La mise en sécurité définitive des déchets radioactifs vise aussi à prévenir ou limiter les charges qui seront supportées par les générations futures, conformément à l'article 2 de la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006. Le stockage est donc conçu de manière à pouvoir être fermé à terme et à garantir la protection des personnes et de l'environnement par des dispositions passives.

Cette « passivité » du stockage après fermeture constitue la différence fondamentale de fonctionnement avec un entreposage. Les propriétés favorables du milieu géologique assurant cette passivité doivent être préservées. Une mise en cohérence avec les exigences de sûreté du stockage est préalable à la définition des conditions de réversibilité : les conditions de réversibilité du stockage ne doivent pas compromettre la sûreté lors de l'exploitation et la sûreté après la fermeture de l'installation de stockage.

L'intégration progressive de la demande de réversibilité dans la conception du stockage géologique en France

■ Un processus d'appropriation collective

En général, fort de sa conviction en la sûreté du stockage géologique, l'ingénieur ou le scientifique du domaine ne tend pas naturellement à promouvoir la réversibilité ; au contraire, il perçoit souvent celle-ci comme l'amenant vers une complexification injustifiée, comme exprimant un doute contestable vis-à-vis du stockage géologique, voire comme antinomique à ce concept. L'appropriation de la réversibilité par l'Andra passe par le constat qu'elle ne résulte pas directement d'un besoin technique ou scientifique, mais d'une demande sociale et d'un choix politique qui s'imposent à l'ingénieur et au scientifique. Charge à ces derniers d'une part de rechercher et de proposer des solutions techniques raisonnables en réponse à cette demande, d'autre part d'exprimer les limites techniques et scientifiques à la réversibilité, liées par exemple à la durabilité des matériaux ou au respect d'autres exigences à satisfaire, particulièrement en matière de sûreté.

La loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991, comme évoqué précédemment, introduit la notion de réversibilité en parallèle à celle d'irréversibilité (« l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes »). Bien que cette loi interdise de manière générale tout stockage souterrain irréversible de déchets (le titulaire d'une autorisation administrative doit retirer les déchets stockés au terme de l'autorisation, sauf si une nouvelle loi décide du contraire), la notion apparaît imprécise pour les déchets radioactifs : s'agit-il d'étudier deux conceptions différentes du stockage, ou de considérer de manière séquentielle que le stockage soit d'abord réversible, puis devienne irréversible une fois fermé ?

Durant la recherche d'un site pour le Laboratoire souterrain, à partir de 1992, les parties prenantes locales consultées par Monsieur Christian Bataille - rapporteur de la loi de 1991 et médiateur - manifestent leur intérêt pour l'étude du stockage réversible. En 1997, lors des enquêtes publiques en vue de la création du Laboratoire, l'Andra relève par elle-même cet intérêt. La réversibilité devient alors progressivement un enjeu majeur.

L'année 1998, au terme de laquelle l'Andra est autorisée à installer le Laboratoire de Meuse/Haute-Marne, apporte un nouvel éclairage sur la réversibilité. À la demande du Gouvernement, la Commission nationale d'évaluation (CNE) remet en juin 1998 un rapport sur la réversibilité, après avoir auditionné sur ce thème divers acteurs dont l'Andra. Pour la CNE, la réversibilité du stockage comprend « l'ensemble des mesures techniques et administratives permettant de pouvoir, si on le désire, reprendre la matière



considérée comme déchet de façon sûre, avec un avantage net pour la société ». D'un point de vue technique, la CNE considère que l'analyse de la réversibilité d'un stockage ne peut être dissociée de considérations sur l'entreposage, et elle propose d'envisager trois situations principales :

- (i) l'entreposage de longue durée en surface ou en subsurface, le plus simple, parfaitement réversible, mais se terminant nécessairement par une reprise des dépôts ;
- (ii) l'entreposage géologique convertible en stockage géologique dit « réversible », avec divers niveaux de réversibilité, décroissante selon les barrières établies ;
- (iii) le stockage géologique dit « irréversible » dans lequel la reprise des colis, possible même après la fermeture du site, serait cependant très lourde.

Par ailleurs, l'Andra organise un atelier international sur la réversibilité en novembre 1998. Elle y expose son approche technique nouvelle de la réversibilité, qui est plus large que la seule notion de récupérabilité des colis de déchets :

- une gestion du stockage par phases successives, chaque phase donnant lieu à des prises de décisions ;
- un niveau de réversibilité décroissant progressivement avec le passage d'une phase à l'autre (les niveaux sont dénommés « réversibilité initiale », « transitoire », « possible ») ;
- des options initiales de conception choisies pour favoriser la flexibilité de gestion par étapes et la récupération éventuelle des colis (modularité, maintien des jeux fonctionnels de manutention des colis stockés...) ;
- un objectif identifié pour les études à mener : évaluer quelle est la durée de chaque niveau de réversibilité, en particulier la « réversibilité initiale ».

Enfin, en décembre 1998, le Gouvernement décide d'inscrire les études de stockage dans la « logique de réversibilité ». Une ambiguïté est alors levée : le stockage que doit étudier l'Andra sera réversible, au moins dans une première période.

L'Andra précise son approche dans son dossier d'étape remis en 2001. Sans présenter de développements techniques et scientifiques à ce stade, l'Andra introduit le principe d'une méthode d'analyse de la réversibilité (sur le modèle d'une analyse de la sûreté), ainsi que l'intérêt d'un « programme d'observation » associé à la gestion réversible du stockage.

En mars 2001, le Comité local d'information et de suivi du Laboratoire souterrain (CLIS) organise un colloque sur la réversibilité et ses limites.

Au plan international, un groupe de travail mis en place sous l'égide de l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), et auquel participe l'Andra, établit une distinction entre « récupérabilité » (*retrievability*) et « réversibilité » (*reversibility*)⁵ : la réversibilité correspond à la « possibilité de revenir sur une ou plusieurs étapes de la planification ou de l'aménagement d'un stockage géologique définitif, à quelque stade que ce soit ». Il s'agit bien de la réversibilité des décisions dans les programmes de stockage définitif des déchets. Elle a donc un champ d'action plus large que la stricte récupérabilité, laquelle exprime « la possibilité d'inverser l'action de mise en place des déchets proprement dite »⁶.

Les experts du groupe de travail de l'AEN insistent fortement sur le fait que la sûreté et la sécurité d'un stockage en exploitation et à long terme ne doivent pas être compromises par des dispositions de conception ou de gestion destinées à faciliter la récupérabilité des déchets.

L'approche de l'Andra s'inscrit dans ces considérations internationales qu'elle a contribué à élaborer et définit alors la réversibilité comme la possibilité d'un pilotage progressif et évolutif du processus de stockage, laissant aux générations à venir une liberté de décision sur ce processus.

Sur cette base, l'Andra développe pour le *Dossier 2005* sa traduction de la réversibilité au plan scientifique et technique, avec :

- des solutions techniques innovantes, pour l'élaboration desquelles la réversibilité a constitué un facteur de créativité (Andra, 2005b) ;
- une « analyse » détaillée de la réversibilité offerte par ces solutions techniques, consistant à évaluer, pour chaque étape du stockage :
 - (i) la capacité d'action sur la poursuite du processus,
 - (ii) la capacité de retrait des colis,
 - (iii) la capacité de faire évoluer la conception,et concluant à une durée possible de réversibilité de 200 à 300 ans (Andra, 2005c) ;
- la conception d'un programme d'observation du stockage, l'analyse des motivations possibles de la réversibilité ayant augmenté la conviction de l'Andra qu'il s'agit d'une composante essentielle de la réversibilité ; l'Andra introduit notamment le principe d'ouvrages « témoins », faisant l'objet d'une instrumentation détaillée (Andra, 2005d).

⁵ La distinction entre « récupérabilité » et « réversibilité » est reliée, par le groupe, à une approche du stockage par étapes successives suivant un processus prudent et souple, qui correspondrait aux « bonnes pratiques ».

⁶ L'AEN (2001) reprend la définition du stockage adoptée par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) : « "Stockage définitif" signifie "mise en place de déchets radioactifs dans un dépôt sans intention de les récupérer" ». Même si l'intention n'est pas exprimée, il est possible de retirer les déchets d'un stockage géologique définitif.



Le *Dossier 2005* remis par l'Andra a fait l'objet de plusieurs évaluations scientifiques. La revue du dossier par un groupe d'experts internationaux sous l'égide de l'AEN, à la demande du Gouvernement, conclut que le dossier présente une approche viable de la réversibilité, sans compromis vis-à-vis de la sûreté opérationnelle ou à long terme. Tout en reconnaissant que l'exigence de récupérabilité des colis existe dans d'autres pays et peut être satisfaite par d'autres concepts que ceux développés par l'Andra, le groupe d'experts internationaux relève que les concepts Andra sont davantage orientés vers la réversibilité que les autres sur des échelles de temps relativement longues. Il relève cependant des inconvénients, qui ne sont pas jugés rédhibitoires, à la référence faite à une période de 200 à 300 ans. La CNE indique, entre autres, la nécessité d'accroître la crédibilité de la notion de réversibilité. De son côté, l'Autorité de sûreté nucléaire ne considère pas que la possibilité de reprendre aisément les colis de déchets est acquise pour la période de deux à trois siècles affichée par l'Andra ; elle indique que si une phase de réversibilité est retenue, l'Andra devra confirmer la possibilité de la reprise de colis de déchets durant cette phase tout en respectant les objectifs de sûreté et de radioprotection. Néanmoins, les propositions formulées par l'Andra ne sont pas remises en cause dans leur principe par les évaluateurs. Elles ne le seront pas non plus dans les suites données par le Gouvernement au débat public sur la gestion des déchets organisé par la Commission nationale du débat public (CNDP)⁷.

Sur ces bases, la loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 fait du stockage l'option de référence pour la gestion à long terme des déchets et impose de concevoir le stockage géologique profond dans le respect du principe de réversibilité. Avec les contraintes exprimées plus haut, les ingénieurs et les scientifiques devront avancer des propositions concrètes solides, aussi bien sur le plan technique que social, afin de permettre ensuite au législateur de statuer sur les conditions de la réversibilité.

Pour ce faire, parallèlement aux travaux scientifiques et techniques, l'Andra cherche à développer le dialogue entre les parties prenantes, dans le cadre d'une démarche structurée d'information et de consultation⁸, dans des échanges poussés à l'international, et par l'intégration de sciences humaines et sociales dans son programme scientifique. La dernière s'est matérialisée notamment dans les deux rencontres scientifiques qui ont préparé la réalisation de cet ouvrage : une journée d'études en octobre 2008 (Andra, 2009b) et un colloque interdisciplinaire en juin 2009 (Andra, 2009c). D'autres échanges ont servi également à asseoir l'approche de la réversibilité de l'Andra durant la période d'après la loi 2006.

⁷ À la suite du débat public, le Gouvernement insiste sur la mise en œuvre progressive et contrôlée du stockage. Sur la réversibilité, le rapport de la CNDP (2006) précise : « les études menées sur la réversibilité par l'Andra permettent de donner à cette notion une véritable traduction technique prise en compte dans le stockage. Elle permettrait une reprise des déchets sur au moins un siècle sans intervention lourde. (...) Il reste que cette thématique devra encore être explorée par l'Andra. Les réactions et questions intervenues sur ce sujet dans le cadre du débat public ont montré que les échanges doivent continuer sur ce sujet, de façon à partager les possibilités offertes par la réversibilité et à rendre ce concept plus concret et accessible aux yeux du public ».

⁸ La démarche proposée par l'Andra en matière d'information et de consultation a été transmise en 2008 à la Commission nationale du débat public, au Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, à la Commission nationale d'évaluation, à l'Autorité de sûreté nucléaire, au Comité local d'information et de suivi du Laboratoire de Bure, aux préfets et aux présidents des Conseils généraux de Haute-Marne et de Meuse. Cette démarche a également fait l'objet d'échanges avec l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, le Conseil économique, social et environnemental, les parlementaires de Haute-Marne et de Meuse et les élus locaux.

L'Andra a présenté son approche de la réversibilité à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, à la CNE et à l'Autorité de sûreté nucléaire. Elle a été présentée également lors d'une réunion d'échanges organisée par le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, en présence de représentants de la CNE et de l'Ancli (Association nationale des commissions locales d'information des activités nucléaires), en octobre 2009.

Au niveau local, l'Andra a engagé des discussions avec le Clis du laboratoire de Meuse/ Haute-Marne, et notamment avec sa commission thématique dédiée à la réversibilité⁹. L'Andra est également intervenue dans la session de la réunion du *Forum on Stakeholder Confidence* (FSC) dédiée au sujet, qui s'est tenue à Bar-le-Duc en avril 2009.

Enfin, plusieurs échanges sur la réversibilité ont eu lieu à l'échelle internationale, en particulier au sein du groupe de travail « Reversibility and Retrievability » mis en place par l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE à l'initiative de l'Andra. Dans ce cadre, une conférence internationale est prévue à Reims du 15 au 17 décembre 2010.

La loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 place également l'entreposage, dont les études et la coordination avec le stockage ont été confiées à l'Andra, dans une position de complémentarité avec le stockage¹⁰. Des options techniques d'entreposage innovantes sont ainsi étudiées par l'Andra pour leur permettre de contribuer à la réversibilité du stockage. Mais, à long terme, l'entreposage ne peut pas se substituer au stockage. Vis-à-vis de la sûreté, l'originalité du concept de stockage est de pouvoir, à terme, assurer de manière totalement passive, sans intervention de l'homme, la protection des personnes et de l'environnement.

■ Une mise en cohérence avec les exigences de sûreté du stockage

Les cadres normatifs et réglementaires

Le contexte réglementaire des installations nucléaires françaises prévoit que périodiquement l'exploitant et l'Autorité de sûreté nucléaire réexaminent la sûreté de l'installation, typiquement tous les 10 ans après sa mise en service. Ainsi, rien n'est définitivement acquis pour l'exploitant en matière de sûreté.

⁹ Plusieurs membres du Clis ont participé aussi au colloque interdisciplinaire organisé par l'Andra à Nancy en 2009. Le Clis s'est également attaché à la question de la « réversibilité pratique du point de vue des acteurs du territoire » dans le cadre des travaux réalisés par le groupe français du projet européen « COWAM in Practice » (2007-2009).

¹⁰ Par exemple, les déchets de haute activité doivent être entreposés pendant au moins 60 ans avant d'être stockés, pour gérer leur dégagement thermique initialement très élevé mais qui décroît dans le temps. La disponibilité d'installations d'entreposage offre ainsi une flexibilité à la prise de décision. De plus, disposer de capacités d'entreposage permettra d'accueillir des colis de déchets dans le cas où ils seraient retirés du stockage.

Ces réexamens ont lieu dans le cadre d'une amélioration continue de la sûreté et de la conception, qui passe par la prise en compte du retour d'expérience de l'exploitation et de sa surveillance, et par une analyse des progrès scientifiques et technologiques. De nouvelles évaluations interviennent aussi lorsqu'une modification notable de l'installation est envisagée. Par exemple, ce serait le cas d'une évolution importante de la conception du stockage, ou d'une étape de fermeture d'une partie du stockage. Chaque réexamen pourra conduire à réévaluer la flexibilité disponible dans le temps vis-à-vis de la décision de fermeture du stockage.

La loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 prévoit en tout état de cause une réversibilité d'au moins 100 ans. Durant cette période, la protection des opérateurs, du public et de l'environnement mobilise des systèmes actifs à surveiller et à maintenir. Cela implique de pouvoir transmettre entre générations successives des connaissances sur la conception, le fonctionnement, la maintenance et le comportement de l'installation. Le maintien des systèmes actifs (comme la ventilation) a toutefois des limites dans le temps du fait du vieillissement possible de certaines structures. Cela se traduira éventuellement par des restrictions sur la durée pendant laquelle la fermeture pourra être différée, particulièrement celle des alvéoles de stockage. De telles restrictions seront déterminées lors des réexamens de sûreté.

La réversibilité implique aussi la possibilité de décider de retirer les colis. Les risques liés aux opérations de reprise des colis doivent être évalués et réduits. Il s'agit de la même démarche de sûreté que pour les opérations de mise en place des colis : la conception d'un stockage réversible comprend donc aussi l'étude des mesures de prévention des risques lors du retrait des colis, des actions de surveillance associées à cette reprise, des limitations des effets d'incidents de retrait de colis et des possibilités d'intervention. Cela conduit à assurer la protection des opérateurs et du public lors de la reprise avec des objectifs similaires à ceux de la mise en stockage. L'état des colis et des structures au moment de l'opération de récupération devront aussi être pris en compte.

Comme cela a été indiqué plus haut, le stockage est conçu pour pouvoir être fermé et rester sûr après sa fermeture. Les fonctions de sûreté requises après la fermeture du stockage reposent sur des dispositions totalement passives : le stockage ne requiert ni maintenance ni intervention humaine pour jouer son rôle de protection à long terme. Les options techniques et les actions liées à la réversibilité ne devront donc pas dégrader ces fonctions de sûreté à long terme.

La réversibilité est ainsi encadrée par les exigences de sûreté :

- au regard de la sûreté en exploitation, chaque réexamen de sûreté conduira à réévaluer la flexibilité dont on dispose dans le temps, et les modalités de fermeture ;
- le franchissement des étapes du stockage et l'évolution des colis et des structures modifieront dans le temps les modalités de récupération des colis ;
- les exigences de sûreté à long terme limitent la liberté du concepteur dans la recherche de solutions techniques réversibles.

La démarche de sûreté

La sûreté du stockage géologique profond repose d'abord sur le choix du site avec une couche d'argile très peu perméable, épaisse, stable dans la durée, géologiquement simple et bien connue. Elle repose aussi sur la connaissance détaillée des colis¹¹, de leur inventaire, de leur localisation, de leurs caractéristiques, en notant en particulier la capacité de confinement sur une très longue durée du verre nucléaire. La sûreté repose enfin sur la conception même du stockage, des excavations souterraines, des moyens de manutention des colis et sur les procédures organisationnelles du stockage.

La conception et l'organisation du stockage comportent plusieurs niveaux de défense vis-à-vis des risques, de sorte que si un niveau n'est pas totalement opérant, les niveaux suivants permettront d'alerter et de compenser. Le premier niveau de défense consiste en des solutions techniques pour pallier les incertitudes et prévenir les risques d'incident, le deuxième niveau est la mise en place d'actions de surveillance du stockage, le troisième niveau la définition de moyens pour limiter les effets d'éventuels incidents ; enfin, il est possible d'intervenir pour corriger des difficultés imprévues si nécessaire.

Au premier niveau de défense, l'Andra effectue une identification aussi systématique que possible des incertitudes sur le comportement du stockage et de son environnement aussi bien à court qu'à long terme. Pour réduire l'impact de ces incertitudes, des dispositions de conception favorables dans l'architecture du stockage sont intégrées ; cela comprend en particulier des marges conservatives dans les dimensionnements.

¹¹ La décision de transférer un colis d'un entreposage de surface vers son alvéole de stockage nécessite d'instruire préalablement la demande d'agrément du colis pour permettre sa prise en charge dans le centre de stockage.



Les risques de défauts de fabrication et d'incidents sont analysés méthodiquement. Comme pour la gestion des incertitudes, les ingénieurs cherchent à minimiser ces risques dans les choix de conception : mise en œuvre de procédés permettant d'en réduire l'occurrence, solutions technologiques fiables et éprouvées, ajout de marges et de redondances si nécessaire.

Au deuxième niveau, la démarche de sûreté comprend la mise en place d'actions de surveillance. Les colis de déchets seront surveillés et contrôlés avant leur mise en stockage ; cela implique les déchets eux-mêmes, mais aussi les colis et les matrices dans lesquels ils sont conditionnés. Le dispositif de surveillance fait appel à de multiples modes de contrôle, comme c'est déjà le cas pour les colis de déchets reçus aux centres de stockage de l'Andra dans l'Aube. Les installations de stockage seront elles-mêmes surveillées par la mise en place de moyens de mesures et d'analyses, pour vérifier leur fonctionnement normal.

Malgré les précautions prises, l'éventualité de défaillances et d'incidents doit néanmoins être envisagée dès la conception du stockage. La démarche consiste alors en une identification de moyens (techniques ou organisationnels) pour limiter les effets sur les employés, les populations et l'environnement en cas d'incident (troisième niveau de défense).

Si, à la suite d'un incident, le stockage se trouvait dans une situation qui n'est pas acceptable à court terme ou qui ne le serait pas à long terme, il faudra alors envisager la possibilité d'intervenir (quatrième niveau de défense). Une intervention consiste en la mise en place de moyens techniques et organisationnels pour remédier à cette situation et ramener le stockage à un fonctionnement sûr. Dans le cas de colis non conformes ou accidentés, l'intervention peut aller, par exemple, jusqu'à récupérer ces colis et les extraire du stockage, si nécessaire. L'Andra a prévu ainsi de tester des démonstrateurs de moyens de manutention dans des situations dégradées. La meilleure solution sera retenue en fonction des risques et des avantages attendus de chacune des options envisageables.

Ainsi, la démarche de sûreté rejoint la demande de réversibilité sur plusieurs aspects :

- une approche prudente pour la gestion des incertitudes et des risques ;
- la surveillance des installations ;
- la possibilité d'une intervention pouvant aller, au cas où, jusqu'à une récupération ;
- des réexamens réguliers, pour décider de la poursuite du processus, conduire des actions nouvelles, améliorer la gestion du stockage et la conception de dispositifs futurs (alvéoles de stockage, moyens de surveillance, par exemple).

La conception du stockage profond réversible par l'Andra

En 2009, l'Andra a proposé des options de réversibilité qui orientent la phase d'études et de recherches en vue du débat public et pour préparer le dossier de demande d'autorisation de création du centre de stockage¹². Ces options constituent également la base des échanges avec les évaluateurs et les parties prenantes.

Comme indiqué précédemment, l'approche de l'Andra en matière de réversibilité vise à permettre la capacité d'intervention sur le processus de stockage lui-même. Des décisions seront prises, aux différents stades de l'exploitation, dans le sens d'une poursuite du processus de stockage (construction de nouveaux modules de stockage en intégrant les évolutions de conception, mise en place progressive des équipements de sûreté passive), d'un maintien en l'état ou d'un retour en arrière. La figure 2 illustre ces choix.

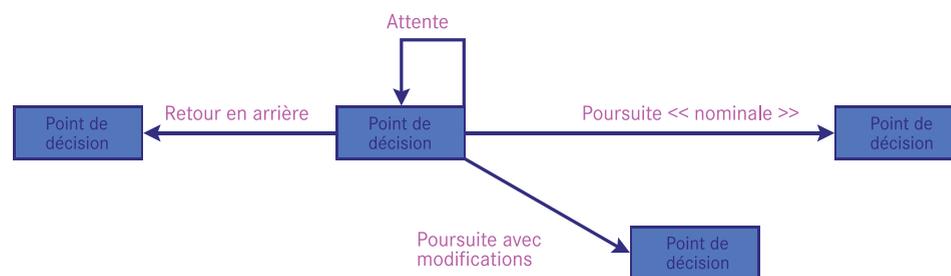


Figure 2 - Les choix ouverts à chaque jalon décisionnel

Trois grandes fonctionnalités ont été définies par l'Andra : capacité de retrait, capacité à agir sur le processus de stockage, capacité à faire évoluer la conception du stockage. Ces fonctionnalités se traduisent dans des dispositions techniques concrètes destinées à faciliter le retrait éventuel des colis, et dans un processus décisionnel relié au développement progressif du centre de stockage et à sa fermeture par étapes.

¹² Conformément au décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.



Les dispositions techniques facilitant le retrait des colis

La capacité à retirer les colis de déchets stockés est la fonctionnalité qui correspond à l'expression la plus concrète de la réversibilité. Comme indiqué précédemment, elle peut être désignée par le terme « récupérabilité ». Elle repose notamment sur la durabilité des colis et des ouvrages de stockage ainsi que sur la définition de procédés d'exploitation adaptés.

Les colis de déchets sont placés dans des colis de stockage, auxquels sont allouées des fonctions de sûreté et des fonctions d'exploitation. Compte tenu de leur durabilité, les colis de stockage facilitent les opérations de retrait éventuel à une échelle séculaire.

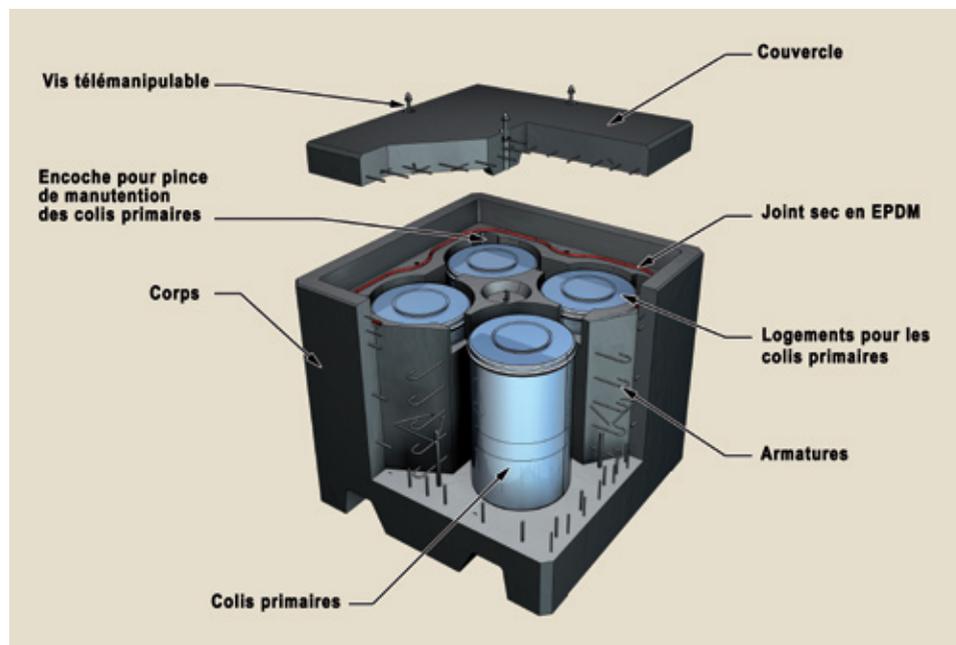


Figure 3 - Colis de stockage étudié pour les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL)

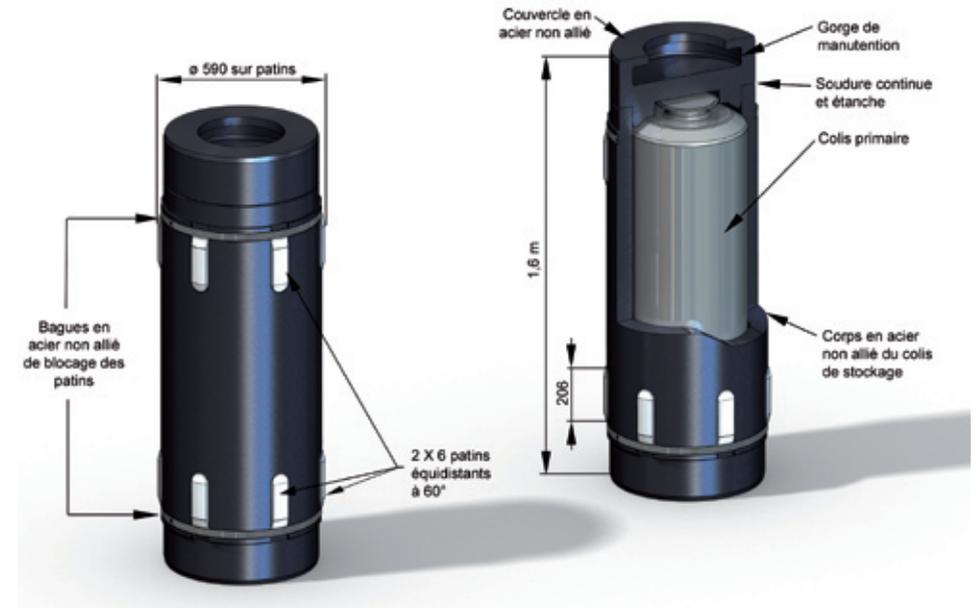
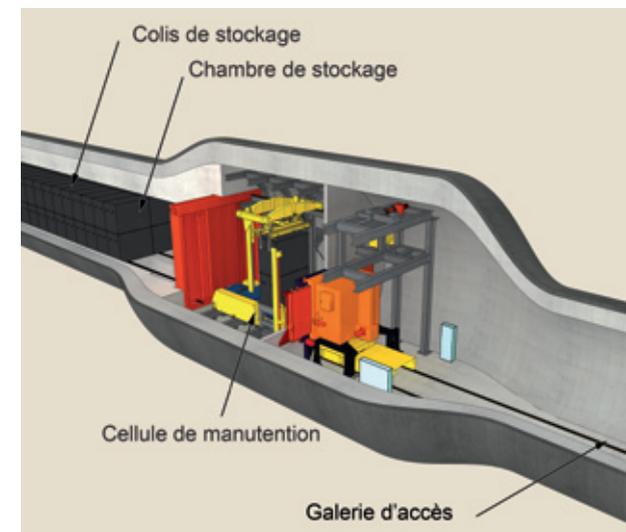


Figure 4 - Colis de stockage étudié pour les déchets de haute activité (HA)

Les colis de stockage ainsi constitués sont placés dans des alvéoles de stockage dédiés, illustrés figure 5 (déchets de moyenne activité à vie longue) et figure 6 (déchets de haute activité). Les colis de stockage seront descendus dans les installations souterraines et transférés dans les alvéoles au moyen d'une « hotte » récupérable qui assure la radioprotection du personnel.



Chaque colis sera extrait de la hotte à l'entrée de l'alvéole puis sera transféré jusqu'à son emplacement de stockage. Un retrait de colis peut s'effectuer par inversion de ce processus.

Figure 5
Alvéole de stockage pour les colis MA-VL

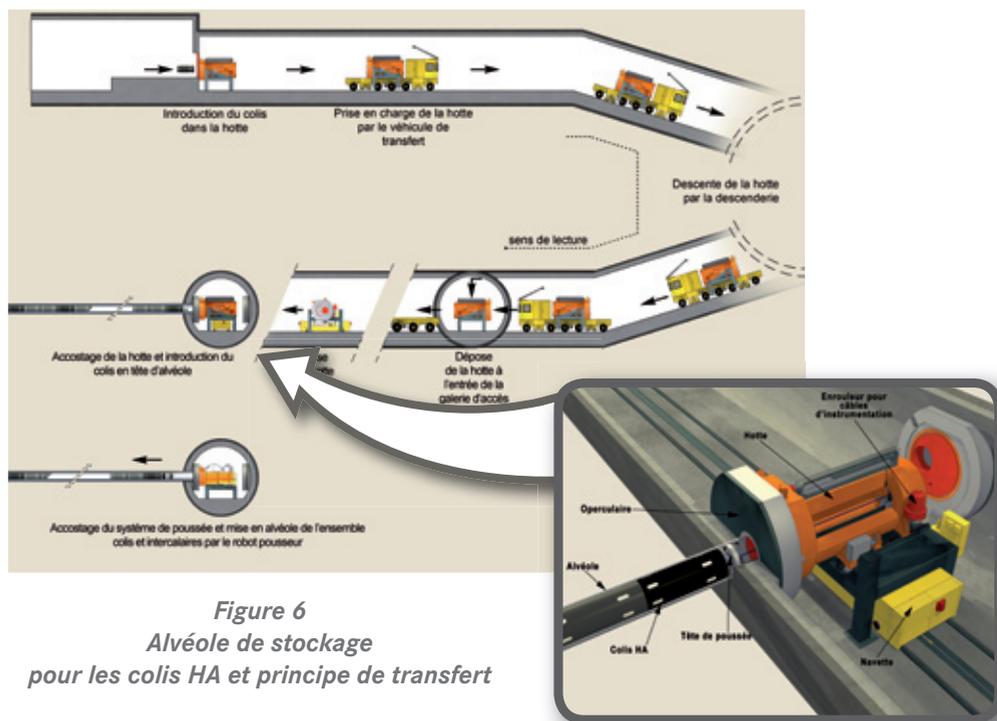


Figure 6
Alvéole de stockage
pour les colis HA et principe de transfert

La durabilité des colis et des ouvrages est liée au choix des matériaux constitutifs et des procédés de réalisation ainsi qu'aux conditions d'environnement du stockage. Les épaisseurs de dimensionnement tiennent ainsi compte de l'évolution phénoménologique du stockage.

Les dispositions de conception retenues pour faciliter les opérations de retrait éventuel des colis d'un alvéole sont les suivantes :

- définir des interfaces de manutention compatibles ;
- préserver des jeux de manutention suffisants, tout en minimisant les vides résiduels ;
- maîtriser les conditions d'environnement dans l'alvéole de façon à préserver l'intégrité physique des colis et les jeux de manutention.

Des essais sont réalisés au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne pour tester sur la durée le comportement des matériaux dans l'argilite du Callovo-Oxfordien. Des essais technologiques sont également conduits en souterrain pour tester les procédés de mise en œuvre des revêtements d'ouvrage. Des essais technologiques en surface permettent de tester les possibilités de retrait des colis (cf. figure 16, page 60).

Une capacité d'entreposage est nécessaire pour gérer les colis qui seraient retirés du stockage, mais la réversibilité n'impose pas de disposer de capacités d'entreposage correspondant au volume total des déchets stockés¹³. Il est également à noter que certains déchets fortement exothermiques nécessitent un entreposage de refroidissement préalable à leur stockage.

■ La réalisation progressive du stockage

Le schéma ci-après (figure 7) illustre les différentes parties du stockage à l'issue de la phase séculaire d'exploitation :

- (i) les installations de surface, nécessaires à la réception des emballages de transport, à la préparation des colis de stockage et aux travaux ;
- (ii) les liaisons entre les installations à la surface et les installations souterraines, pour gérer les flux liés aux opérations de construction et d'exploitation nucléaire (opérateurs, matériels, hottes blindées assurant le transfert des colis de stockage, matériaux de construction, évacuation des déblais, ventilation, réseaux) ;
- (iii) les installations souterraines, organisées en zones adaptées à chaque catégorie de déchets (moyenne activité à vie longue/haute activité). L'utilisation d'une descenterie permet de découpler certaines installations de surface des installations souterraines (par exemple les installations liées à la réception des colis). Les puits sont notamment adaptés à des fonctionnalités liées à la ventilation et au transfert des matériaux.

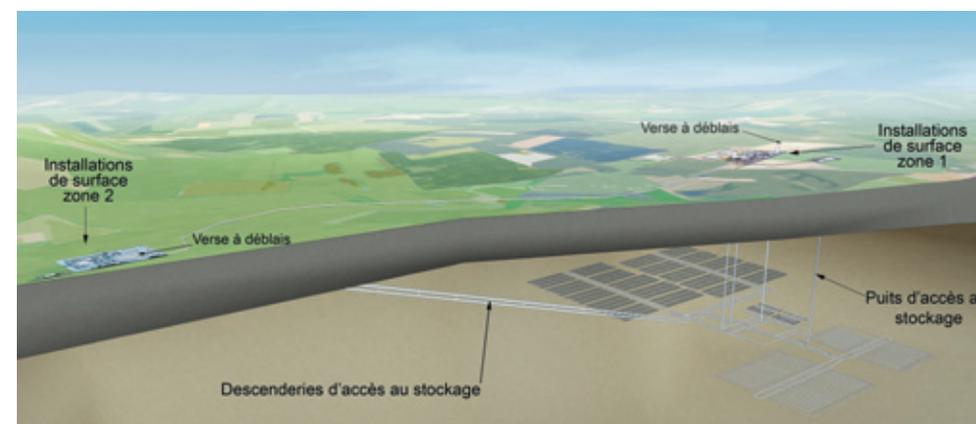


Figure 7 - Architecture générale du stockage

¹³ Il n'est pas envisageable, en effet, de déstocker des colis à un rythme supérieur à celui de leur mise en stockage. Au plan technique, il suffirait donc de quelques années pour créer, éventuellement par tranches successives, de nouvelles installations capables de gérer les colis qui seraient retirés du stockage. Les installations d'entreposage pourraient être implantées sur le site de stockage ou rester sur les sites de production (La Hague, Marcoule, Cadarache en particulier).

L'architecture modulaire du stockage permet d'envisager un développement par tranches successives - chacune correspondant à une dizaine d'années d'exploitation - et de jalonner les décisions de construction de nouveaux modules, comme l'illustre, par exemple, la figure 8¹⁴.

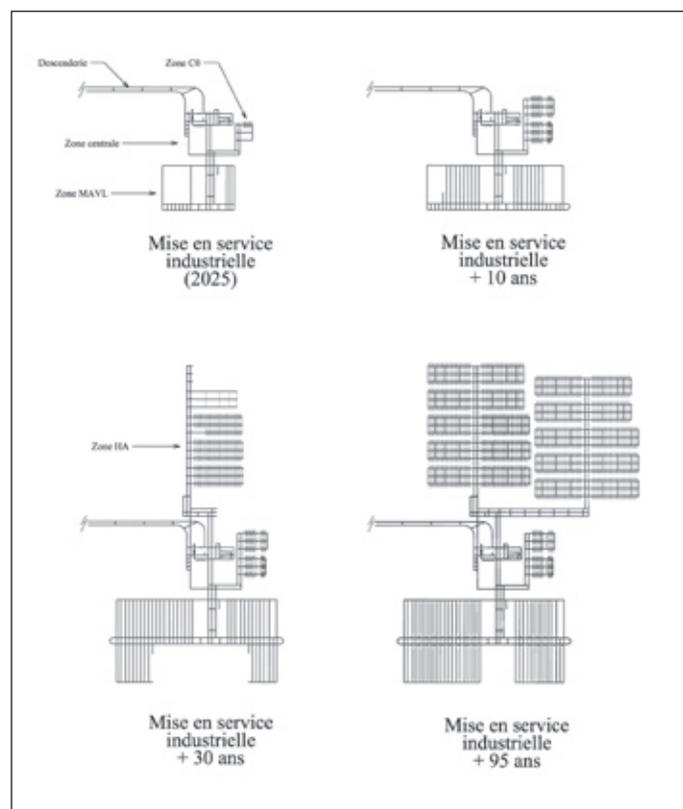


Figure 8 - Un exemple de développement progressif du stockage

Le stockage est conçu pour permettre de mener en parallèle les opérations liées au stockage des colis et la construction de nouveaux modules, après la mise en service des premiers alvéoles. Des galeries de liaison souterraines dédiées permettent notamment de séparer les flux liés aux travaux et ceux liés aux activités nucléaires. La figure 9 illustre ces éléments.

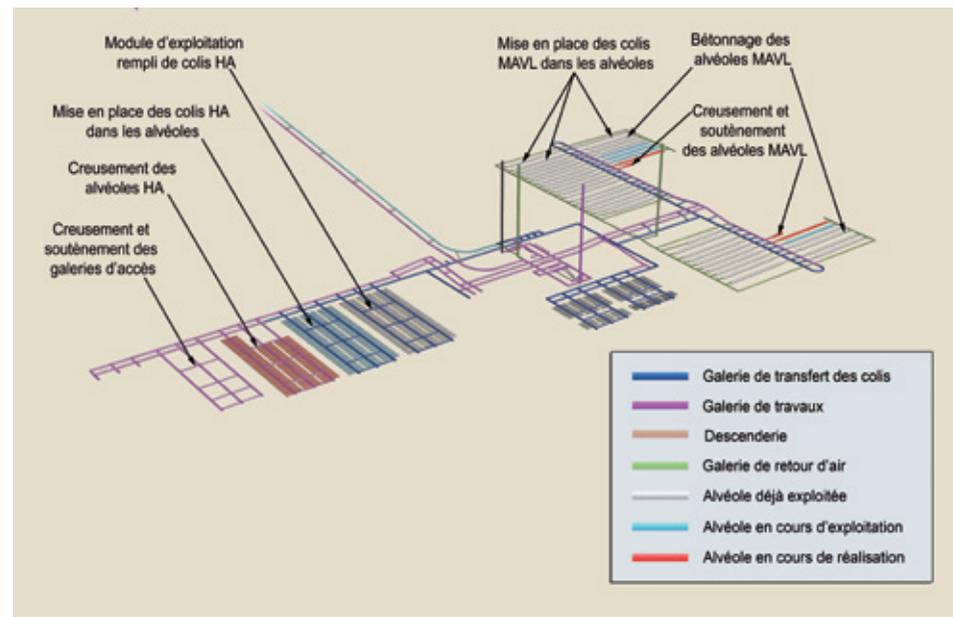


Figure 9 - Opérations parallèles de construction et stockage

Le développement progressif du stockage permet d'acquérir un retour d'expérience tout au long du processus. Il ouvre la possibilité de faire évoluer la conception des nouveaux ouvrages, comme souligné précédemment. Une réévaluation régulière des modalités et de la durée de réversibilité peut être envisagée, fondée sur l'observation et la surveillance des ouvrages, de la même façon que tout exploitant d'une installation nucléaire doit réévaluer régulièrement la sûreté de son installation¹⁵.

■ La fermeture par étapes des ouvrages de stockage

Le stockage est conçu pour pouvoir être fermé et alléger ainsi la charge de la gestion des déchets pour les générations futures. Dans le dossier de demande d'autorisation de création du centre de stockage, la sûreté du centre devra ainsi être appréciée au regard des différentes étapes de gestion, y compris celle de sa fermeture définitive.

Afin d'offrir une flexibilité au pilotage du processus de stockage, l'Andra a proposé que cette fermeture puisse être mise en œuvre de manière progressive. Au fur et à mesure qu'il est décidé de franchir les étapes de fermeture en mettant en place des

¹⁵ L'article 29 de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire précise : « L'exploitant d'une installation nucléaire de base procède périodiquement au réexamen de la sûreté de son installation en prenant en compte les meilleures pratiques internationales. Ce réexamen doit permettre d'apprécier la situation de l'installation au regard des règles qui lui sont applicables et d'actualiser l'appréciation des risques ou inconvénients que l'installation présente pour les intérêts mentionnés au I de l'article 28, en tenant compte notamment de l'état de l'installation, de l'expérience acquise au cours de l'exploitation, de l'évolution des connaissances et des règles applicables aux installations similaires. (...) Les réexamens de sûreté ont lieu tous les dix ans. Toutefois, le décret d'autorisation peut fixer une périodicité différente si les particularités de l'installation le justifient ».

¹⁴ La représentation est réalisée sous l'hypothèse d'un stockage au plus tôt des déchets HA fortement exothermiques et avec les données du scénario de base du modèle d'inventaire de dimensionnement 2009.

scelllements ou en fermant des galeries de liaison souterraines, le niveau de récupérabilité diminue graduellement¹⁶. Des étapes intermédiaires pourraient ainsi être identifiées, par exemple à l'échelle de la fermeture d'un module pour une famille de déchets ou d'une zone de stockage. La fermeture des ouvrages de liaison entre les installations en surface et les installations souterraines marque le début de la phase de contrôle institutionnel du site et l'obligation du maintien de la mémoire du stockage. Toutefois, conformément à l'article L 542-10-1 du Code de l'environnement, seule une loi pourra autoriser la fermeture définitive du centre de stockage.

Pour l'alvéole HA, les états intermédiaires suivants ont été identifiés :

- alvéole rempli : les colis sont placés dans l'alvéole. Un bouchon métallique de fermeture avec un écran de protection radiologique est mis en place. L'operculaire d'exploitation, dispositif d'ouverture et de fermeture de l'alvéole, est démonté et remplacé par une console. Les lignes de prélèvement et de contrôle de l'atmosphère occluse dans l'alvéole sont connectées à cette console ;
- alvéole obturé : l'alvéole est fermé par un bouchon en argile gonflante appuyée sur un bouchon en béton. La surveillance peut continuer *via* des forages parallèles à l'alvéole pour le suivi de la température. Des capteurs peuvent également être maintenus à l'intérieur de certains alvéoles témoins ;
- module remblayé : les galeries d'accès internes au module sont déséquipées et comblées ;
- zone fermée : les galeries de liaison sont déséquipées et remblayées. Les scelllements entre modules sont mis en place. D'autres zones peuvent être exploitées.

Pour l'alvéole MA-VL, les états suivants sont identifiés :

- alvéole rempli : les colis sont placés dans l'alvéole et la protection radiologique est assurée par des blocs en béton. La ventilation est maintenue ;
- alvéole obturé : le sas est remblayé par du béton, qui servira d'appui au scellement. La ventilation est arrêtée. Un espace peut être ménagé pour permettre une remise en service éventuelle de la ventilation et le passage de câbles pour l'observation-surveillance ;
- module remblayé : le scellement est mis en place ;
- zone fermée : les galeries de liaison sont déséquipées et remblayées. D'autres zones peuvent être exploitées.

L'observation et la surveillance des ouvrages de stockage permettront de vérifier leur comportement et d'apporter des éléments de connaissance au processus décisionnel. Le dispositif d'observation-surveillance devra être adapté au fur et à mesure du développement du stockage et du franchissement des étapes de fermeture. Certains alvéoles témoins pourront être instrumentés plus spécifiquement.

Pour faciliter les échanges avec les parties prenantes, l'Andra a proposé le développement d'une échelle au niveau international dans le cadre du projet « Réversibilité et Récupérabilité » coordonné par l'AEN. Cette échelle identifie différents niveaux de récupérabilité, qui correspondent également à l'ajout progressif d'éléments de sûreté passive. Il est possible de définir des étapes décisionnelles associées au franchissement de niveaux dans l'échelle.

Niveaux dans l'échelle de récupérabilité		Éléments de sûreté rajoutés progressivement	Activités humaines de gestion des déchets
0	Déchets non conditionnés		Gestion active des déchets
1	Colis entreposés	Conditionnement	Gestion active des entrepôts
2	Colis stockés, et facilement récupérables	Alvéole de stockage en profondeur	Gestion active des alvéoles
3	Colis récupérables après reconfiguration des alvéoles	Obturation des alvéoles	Maintenance des ouvrages d'accès
4	Colis récupérables après travaux d'excavation souterraine	Remblai et scellement des galeries	Surveillance possible à distance Archivage de la configuration
5	Colis récupérables après réouverture du stockage	Remblai et scellement des accès	Contrôle institutionnel
6	Déchets récupérables après travaux miniers	Décroissance des radionucléides à courte période	Mémoire

Figure 10 - Projet d'échelle représentant les niveaux de récupérabilité

¹⁶ La limitation à long terme des circulations d'eau dans les ouvrages de stockage et des déformations mécaniques de l'argilite contribuent à la sûreté à long terme du stockage, qui doit être assurée de manière totalement passive. Sa fermeture rendrait plus complexe un éventuel retrait des colis, en nécessitant à terme la mise en œuvre de technologies minières et nucléaires.



Cette échelle peut être utilisée pour représenter les choix ouverts aux différentes étapes décisionnelles, comme illustré dans la figure suivante.

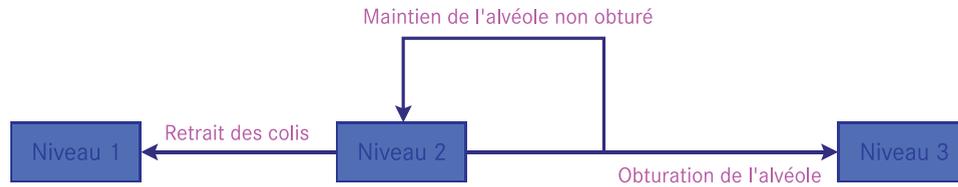


Figure 11- Options possibles pour un alvéole non obturé (niveau 2 dans l'échelle)

Le champ des possibles à chaque jalon décisionnel résulte de la conception initiale, des décisions prises antérieurement dans le processus et des données issues de l'observation-surveillance. Le schéma suivant présente un déroulement temporel possible des différentes décisions de gestion d'un groupe de colis, du niveau 1 (entreposage en surface) au niveau 3 (alvéole obturé).

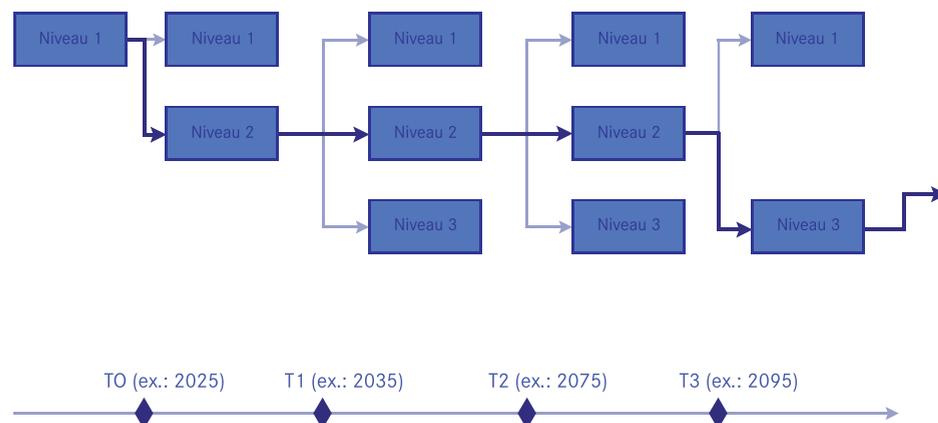


Figure 12 - Exemple d'enchaînements possibles de décisions pour un groupe de colis

La place de l'innovation et de la recherche dans la définition de la réversibilité

Montrer et démontrer la réversibilité

Un stockage géologique réversible est une installation hors du commun pour de multiples raisons. Les échelles de temps considérées, conduisant à évaluer la sûreté à long terme à l'échelle du million d'années, lui confèrent un caractère unique. Les options techniques concrètes intégrées dès la conception sont évaluées avant l'enclenchement de la construction. Peu d'autres types d'installations ont été étudiés de façon si approfondie, et disposent d'une richesse comparable de connaissances scientifiques et techniques sous-tendant la description des évolutions attendues.

Des connaissances scientifiques, des simulations numériques des expérimentations réalisées *in situ* et des démonstrateurs techniques sont mobilisés pour montrer et démontrer qu'une gestion réversible est réaliste et réalisable. Un domaine d'incertitude est pris en compte dans la conception, qui sera susceptible d'évoluer progressivement avec les connaissances acquises au cours de la construction puis de l'exploitation. Ainsi, un suivi de l'état des ouvrages, et plus généralement de l'évolution des processus affectant le stockage au cours de la période d'exploitation réversible, apparaît nécessaire. Il sera réalisé sur la base de stratégies d'observation-surveillance adaptées, afin de vérifier et de conforter les modélisations et d'apporter les précisions utiles pour la gestion progressive mise en œuvre. Des expérimentations et des tests *in situ* (ou dans des conditions comparables) seront également nécessaires pour accompagner sur le plan opérationnel les évolutions en matière d'ingénierie. Enfin, une évaluation socioéconomique doit faire partie de la conception et de l'analyse du cycle de vie des installations, notamment pour pondérer des contraintes convergentes (réversibilité, sûreté, optimisation de l'exploitation, financement) et tenir compte des progrès techniques pour les futurs ouvrages.

La démonstration scientifique et technique de la réversibilité

Les études et les recherches mises en œuvre en lien avec la réversibilité comprennent notamment la description et l'analyse phénoménologique de l'évolution du stockage, les études et les essais de procédés de retrait des colis, le développement de moyens d'observation-surveillance pour le stockage.

Les contraintes imposées par l'environnement géologique

Le milieu géologique est caractérisé par des propriétés (principalement mécaniques) qui conditionnent en partie la réversibilité quelle que soit la nature des infrastructures. Si nous considérons les trois grands types de roches étudiées au niveau international pour accueillir des stockages de déchets radioactifs (granite, argile, sel), nous constatons que leurs comportements respectifs engagent un positionnement très différent vis-à-vis du concept de réversibilité. Leur évolution à la suite du creusement d'ouvrages se traduit en particulier par des cinétiques de convergence très différentes¹⁷. Le granite, étudié en particulier dans les pays scandinaves, est une roche dure dont les mouvements seront très limités. À l'opposé (cf. figure 13), les formations salifères, retenues par exemple aux États-Unis et étudiées en Allemagne, présentent des convergences élevées. Les roches argileuses, étudiées en particulier en Belgique, en Suisse et en France, ont un comportement intermédiaire dépendant en particulier de leur composition minéralogique (taux de carbonates ou de quartz par exemple).

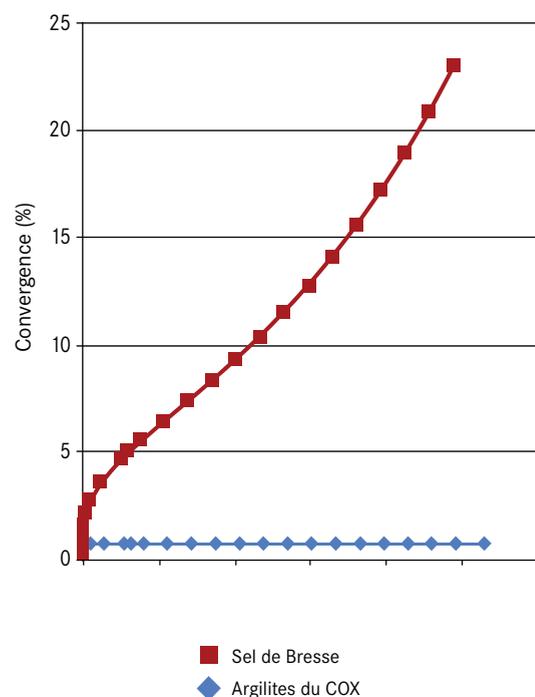


Figure 13 - Taux de convergence de roches salines et argileuses

¹⁷ Le phénomène de convergence fait référence à la diminution du volume des vides par unité de temps, tendant à refermer progressivement les infrastructures souterraines en l'absence de revêtement ou d'ouvrages de soutènement.

Ainsi, le choix d'un site pour le stockage, et en particulier de la nature de la roche hôte – pour ses propriétés de confinement de la radioactivité –, conditionne très largement le concept de réversibilité. Dans le cas de l'Andra, le site de Meuse/ Haute-Marne a été sélectionné avant tout sur la base de caractéristiques telles que la géométrie de la couche, son homogénéité, sa faible perméabilité et l'aptitude des minéraux argileux qu'elle contient à retenir les radionucléides. Ce n'est qu'ensuite qu'il a été possible d'adapter la conception des infrastructures, leurs géométries, leurs dimensionnements aux caractéristiques du milieu en prenant en compte l'exigence de réversibilité.

L'évaluation du comportement du stockage

Pour évaluer les conditions dans lesquelles pourraient se dérouler des opérations liées à la réversibilité, il est nécessaire de décrire l'évolution du système de stockage au cours des premières centaines d'années incluant la période d'exploitation et une première période post-fermeture (environ 100 ans).

L'Andra a, pour ce faire, mis en place une approche appelée Analyse phénoménologique des situations de stockage (APSS). Cette démarche originale consiste à analyser l'ensemble des processus phénoménologiques d'origine thermique, hydraulique, mécanique, chimique et radiologique qui affectent dans le temps les composants du stockage (alvéole, galerie, puits...) et le milieu géologique. Afin d'appréhender un système complexe qui fait intervenir des phénomènes variés et souvent couplés, l'analyse se fonde sur une segmentation de la vie du stockage en situations affectées aux différentes zones de stockage. Cette segmentation, rendue possible par la conception modulaire du stockage, tient aussi compte des différentes étapes de sa gestion.

L'APSS a été initialement plus focalisée sur la phase de post-fermeture (Andra, 2005a) puis davantage orientée vers la période d'exploitation du stockage (APSS-Exploitation 2009) de manière à traiter des différentes durées de réversibilité envisageables à travers des chronogrammes glissants. Cette approche permet de disposer d'un film retraçant, pour diverses configurations d'exploitation ou de choix concernant la réversibilité, les modifications affectant les différents composants du stockage et d'indiquer quels processus sont mis en jeu.

L'analyse phénoménologique des situations de stockage du *Dossier 2005 Argile* avait déjà décrit les processus propres à la période d'exploitation et avait mis en évidence l'importance des transitoires et des couplages phénoménologiques forts pendant cette période. En focalisant l'analyse sur la période d'exploitation et en y apportant les avancées des connaissances scientifiques et techniques réalisées depuis 2005, l'APSS-Exploitation (Andra, 2009a) confirme les grands enseignements phénoménologiques relatifs à la période séculaire d'exploitation et de réversibilité. Ainsi, l'APSS-Exploitation

fournit des temps caractéristiques pour évaluer les flexibilités possibles dans la gestion du processus de stockage. Elle contribue à identifier les paramètres à suivre dans le cadre de l'observation-surveillance du stockage et décrit également dans quels états physiques et chimiques vraisemblables se trouveraient les composants situés dans les parties fermées du stockage, s'il était décidé d'y accéder à nouveau.

Cette période de quelques centaines d'années est sans doute la plus complexe à décrire. De nombreux processus transitoires et des déséquilibres forts entre le stockage et son environnement se manifestent. Outre les aspects géomécaniques relatifs à la nature de la roche hôte évoqués précédemment, des processus hydrauliques, thermiques et chimiques affectent le stockage dès son ouverture ou dès la mise en place des colis. Leurs conséquences sur la réversibilité sont très variables. Par exemple, dans le cas des processus hydrauliques, la ventilation des galeries et des alvéoles MA-VL conduit à une désaturation des ouvrages et de la roche environnante. Elle retarde donc le retour de l'eau et, par conséquent, les processus de dégradation chimique des ouvrages cimentaires, ainsi que l'éventuelle mise en solution de radionucléides. Au premier abord, il est possible de considérer que le maintien de l'accès facile aux colis MA-VL (et donc de la réversibilité) constitue un facteur de stabilité chimique de ce type d'alvéole.

Il en va différemment pour les alvéoles HA (déchets vitrifiés). En effet, ceux-ci sont principalement associés à des matériaux métalliques (aciers). Si l'on maintient ces alvéoles ouverts (ou au moins facilement accessibles), l'oxygène y sera en partie renouvelé et contribuera à une altération plus rapide des aciers. La manutention serait réduite dans le temps et la possibilité de récupérer des colis dans un chemisage intact amoindrie. Ce phénomène est illustré par la figure 14, où il est montré que la corrosion oxygène est 30 fois plus rapide que la corrosion anoxique.

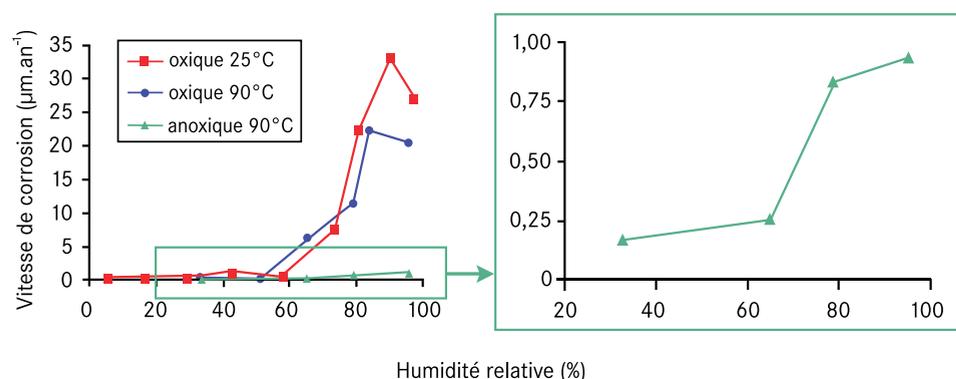


Figure 14 - Influence de la présence d'oxygène sur les vitesses de corrosion des aciers, rôle de l'humidité relative et de la température

D'autres exemples peuvent être évoqués. Les vides ménagés entre divers composants du stockage pour faciliter les opérations de mise en place ou de retrait de colis sont des éléments importants pour la réversibilité. Ils sont aussi la source de problématiques scientifiques relativement complexes. Des contraintes mécaniques liées à la nature des contacts entre matériaux et à la spécification des réactions chimiques sont susceptibles de se dérouler dans un milieu rendu discontinu par la présence de vides. Le comblement des vides (sous l'effet du poids des terrains) engendrera des interfaces entre matériaux assez peu prédictibles. Cela induit inévitablement des incertitudes dans la modélisation des processus complexes se déroulant à ces interfaces.

Un autre phénomène concerne la production d'hydrogène qui aura lieu au cours de l'évolution du stockage. Deux processus contribueront à cette production :

- la corrosion anoxique des matériaux métallurgiques, notamment dans les alvéoles HA ;
- la radiolyse de composés organiques contenus dans certains colis de déchets MA-VL.

Si le premier processus est principalement attendu postérieurement à la fermeture des ouvrages, le second débute dès la mise en stockage des colis concernés. Compte tenu des matériaux utilisés et des conditions d'hygrométrie dans les alvéoles MA-VL, l'hydrogène produit pourra assez rapidement migrer hors des colis. La ventilation envisagée dans les alvéoles MA-VL permettra la dilution de l'hydrogène dans l'air et son évacuation de telle sorte que sa concentration reste toujours inférieure à un volume de l'ordre de $10^{-3}\%$.

Il n'en sera pas de même en cas d'arrêt accidentel de ventilation ou dès lors que l'alvéole MA-VL sera scellé. Une réponse pendant l'exploitation ou un retour en arrière dans le cadre de la réversibilité nécessiteront alors de connaître la composition du mélange gazeux au sein de l'alvéole afin de prévenir tout risque d'explosion au contact de l'oxygène de l'air¹⁸.

Actuellement, on ne dispose pas de capteurs sensibles et durables permettant de mesurer la répartition des teneurs en hydrogène dans un alvéole MA-VL (voir plus loin). Ceci impose donc, à ce stade des études, de procéder à des simulations numériques pour décrire les conditions physicochimiques et la distribution des teneurs en hydrogène. Un exemple de simulation est montré dans la figure suivante (figure 15).

¹⁸ En situation accidentelle d'arrêt de ventilation de quelques jours, la spécification des colis primaires limitant la production d'hydrogène à 10 l/an garantit néanmoins l'absence de conditions explosives pendant la période nécessaire au redémarrage de la ventilation.

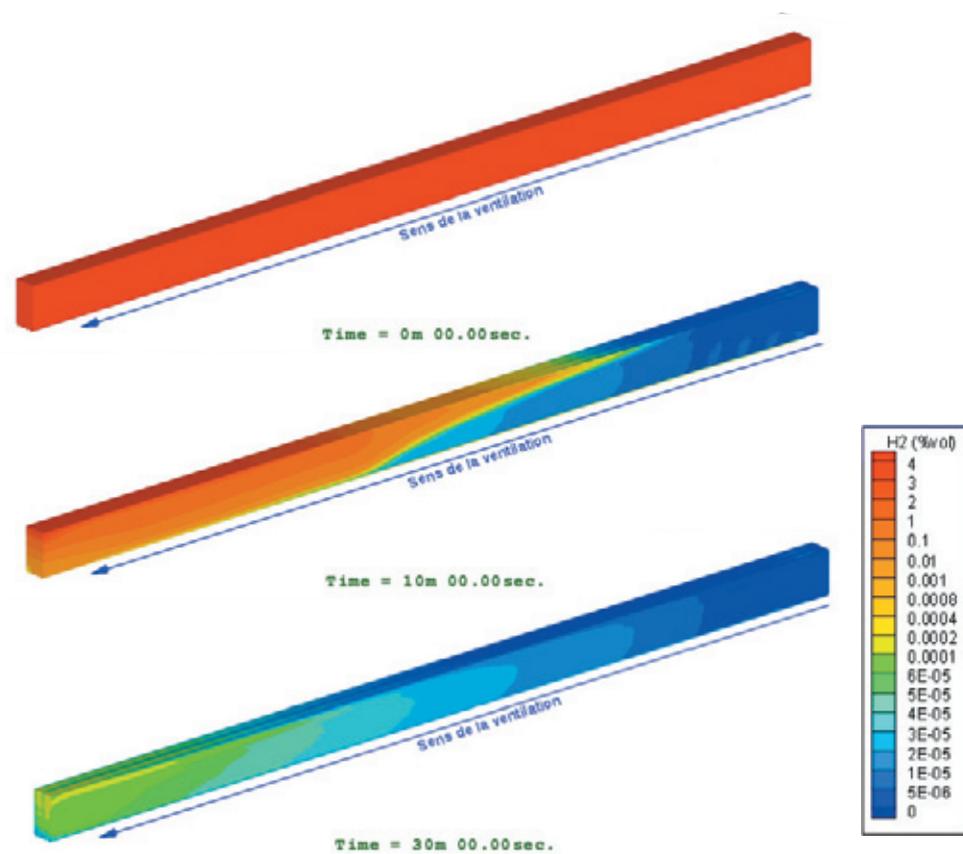


Figure 15 - Variations de la concentration d'hydrogène dans les jeux longitudinaux de l'alvéole MA-VL lors d'une reprise de ventilation après plusieurs mois d'arrêt (simulation)

On constate donc que la préparation d'une gestion réversible du stockage nécessite parfois des moyens complémentaires à l'expérimentation ou à l'observation afin de disposer des éléments nécessaires à la mise en œuvre de la réversibilité dans des contextes particuliers.

Les études techniques, les expérimentations scientifiques et les essais technologiques

Les études techniques en lien avec la réversibilité portent notamment sur :

- la conception des ouvrages souterrains et des conteneurs de stockage pour assurer leur durabilité ;
- les procédés de manutention pour mettre en place les colis et pour leur retrait éventuel ;
- les besoins en capacités d'entreposage pour gérer les colis qui seraient retirés du stockage ;
- les procédés de contrôle des colis avant leur mise en stockage ;
- les moyens d'observation-surveillance (cf. infra).

Ces études techniques sont menées en relation étroite avec les études sur la sûreté pendant l'exploitation et après la fermeture du stockage.

Des expérimentations *in situ*, intégrées sur le plan de l'ingénierie, représentatives des contraintes citées plus haut, et à la durée suffisamment longue, sont envisagées en vue de reproduire les contraintes imposées par le comportement du stockage, et en particulier les processus mécaniques, thermiques, hydrauliques et chimiques qui, rappelons-le, sont particulièrement complexes au cours de la période des premières centaines d'années. On retiendra en particulier des essais thermiques à l'échelle 1 sur des concepts d'alvéoles HA devant démarrer en 2012. Sinon, les interfaces entre les argilites et les matériaux font l'objet d'études dans des laboratoires de surface qui doivent être confirmées *in situ* et pour lesquelles des essais ont été mis en place en 2009 au Laboratoire souterrain. Une expérimentation est également dédiée à l'étude de l'effet de la désaturation due à la ventilation sur un tronçon de galerie.

Des essais technologiques sont réalisés au Laboratoire pour tester les procédés de réalisation des ouvrages souterrains puis pour suivre le comportement de ces ouvrages. À ce sujet, le retour de l'expérience du suivi des tunnels montre l'intérêt de réaliser des observations sur la durée.

Une autre approche consiste à mettre en place différentes expérimentations destinées à tester les composants du stockage qui ont un impact potentiel sur la gestion de la réversibilité. On citera par exemple des tests d'altération de différents matériaux (acier, béton, verre) ou les conséquences d'une ventilation sur les propriétés mécaniques de la roche et de son soutènement. Les potentialités et les limites de la réversibilité seront, cette fois-ci, démontrées sur la base de résultats expérimentaux, de modèles physiques et de simulations numériques.

Au stade actuel d'avancement du projet, il existe une maîtrise scientifique des grands processus susceptibles d'affecter le stockage au cours de son exploitation réversible¹⁹. Différents scénarios ont été étudiés et conduisent à des résultats homogènes et physiquement cohérents. Même si la contribution scientifique repose sur un nombre croissant d'expériences, de modélisations ou d'opérations de démonstration, il est indispensable qu'elle soit en permanence confortée lors des processus de construction et d'exploitation notamment au travers d'un dispositif d'observation et de surveillance performant. Par l'intégration en continu de données complémentaires correspondant à des situations parfois spécifiques et rendant compte de durées de plus en plus longues, on disposera d'un outil de plus en plus performant pour gérer les détails de l'exploitation réversible.

Des essais technologiques sont aussi réalisés en surface. Dans le cadre du projet européen « Esdred », l'Andra a ainsi réalisé un prototype pour tester le procédé de mise en place et de retrait des colis de haute activité. Les essais ont porté sur un système complet (navette de roulage et d'accostage, hotte de radioprotection, robot pousseur) dans un tronçon de galerie à l'échelle 1. Les essais ont permis de mettre à l'épreuve ce système et d'en préciser les performances.

Pour évaluer la capacité du système à récupérer des colis dans une hypothèse pénalisante de fortes déformations différées de l'alvéole, les essais permettaient de simuler des défauts géométriques importants du chemisage : défaut de passage (éloignement de deux tronçons de chemisage), défaut d'alignement angulaire entre tronçons (cf. figure 16), défaut d'alignement transversal. Ces situations n'ont conduit à aucune difficulté particulière pour le retrait de colis.



Figure 16 - Test de retrait d'un colis HA dans un alvéole fortement déformé

¹⁹ Cette maîtrise est principalement le fruit du travail réalisé au sein de groupements de laboratoires (GL) mis en place par l'Andra, qui permettent de fédérer les efforts d'un certain nombre d'équipes de recherche internationales comme le British Geological Survey, le CEA, EDF, l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse, le Laboratoire environnement géomécanique et ouvrages, l'Institute of Geology and Geochemistry of Petroleum and Coal at Aachen University, le Laboratoire des matériaux et des structures du Génie civil, le Laboratoire de mécanique de Lille, le Laboratoire de mécanique des solides, le Laboratoire d'étude des transferts en hydrologie et environnement et l'université de Liège. Par ailleurs, l'Andra participe au projet dédié à la migration du gaz dans les stockages de déchets (FORGE), qui a débuté en 2009 dans le cadre du 7^e Programme-cadre de recherche et développement (PCRD) européen, lequel inclut des expérimentations dans 4 laboratoires souterrains.

Un moyen complémentaire spécifique à la récupération de colis pourrait être développé pour pouvoir appliquer un effort de traction important, en cas de collage du colis sur le chemisage dans une hypothèse de forte corrosion à la suite d'une évolution anormale de l'alvéole. Le procédé de mise en place des colis de moyenne activité à vie longue est en cours de développement et sera testé d'ici 2013.

Le programme d'essais technologiques prévoit la réalisation au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne d'un prototype de tête d'alvéole HA et la mise en place d'un essai pour suivre sur la durée le comportement d'un alvéole soumis à de fortes températures. Les essais technologiques en surface seront poursuivis, en vue notamment de tester un nouveau système d'accostage hotte/tête d'alvéole HA.

■ L'observation et la surveillance du stockage²⁰

L'observation-surveillance des ouvrages du stockage contribue à la sécurité, à la sûreté et à la gestion réversible du stockage. Elle intervient notamment en appui du pilotage du processus de stockage et du processus décisionnel associé. Elle a été intégrée dès les phases en amont de la conception du stockage (Andra, 2005d).

L'observation-surveillance permet notamment de suivre l'évolution des différents ouvrages dans leur environnement afin de s'assurer de leur durabilité ou de détecter, le cas échéant, une nécessité d'action pour préserver les différents choix de gestion de la réversibilité : maintien d'un ouvrage en l'état pendant une certaine durée, passage à l'étape suivante en scellant l'ouvrage, retour à l'étape précédente en rétablissant l'accès à l'ouvrage. Elle permet également de tirer profit de l'expérience acquise sur des ouvrages déjà réalisés afin d'améliorer la conception des futurs ouvrages. Les données acquises contribuent également à affiner les modèles utilisés pour décrire le comportement du stockage.

La réponse aux besoins d'observation-surveillance prend appui sur des approches classiques et éprouvées, qui seront adaptées au contexte du stockage géologique²¹. La conception du système d'observation-surveillance prend en compte le retour d'expérience de la surveillance d'ouvrages du Génie civil (tunnels, enceintes de confinement des réacteurs nucléaires, barrages...). Toutefois, deux spécificités du système d'auscultation des ouvrages du stockage géologique doivent être soulignées :

²⁰ Les termes « observation » et « surveillance » sont utilisés pour traduire le terme anglais de *monitoring*. On entend ici par « surveillance » le contrôle permanent du déroulement d'un processus, du bon état de dispositifs, de systèmes, le respect d'un domaine de fonctionnement. On entend par « observation » l'action de considérer avec attention des choses, des êtres, des événements. D'un point de vue scientifique, il s'agit d'un procédé d'investigation consistant en l'examen attentif d'un fait, d'un processus, en vue de mieux le connaître, le comprendre, et excluant toute action sur les phénomènes étudiés. L'observation du stockage permet donc d'enrichir des connaissances supplémentaires. L'observation et la surveillance reposent sur l'« auscultation », ensemble de dispositifs permettant l'acquisition des mesures, ainsi que leur analyse et leur interprétation. Un dispositif d'auscultation est rarement utilisé isolé ; plusieurs capteurs et méthodes non destructives sont associés pour former un système global indispensable à des interprétations fiables. Il est alors difficile de conserver la distinction entre « observation » et « surveillance ».

²¹ L'approche de l'Andra à ce sujet est assimilable à celle du *Structural health monitoring* développée en Génie civil pour les « structures intelligentes ».

- la longévité requise est de l'ordre séculaire, durée à la fois très longue devant la durabilité des dispositifs d'auscultation et très courte en regard de certains des phénomènes en jeu ;
- les ouvrages les plus sensibles, les alvéoles de stockage, ne seront accessibles dès la mise en place du premier colis que par des moyens robotisés, puis inaccessibles à l'instrumentation pour obtenir éventuellement des mesures additionnelles après scellement.

Les moyens d'observation-surveillance nécessaires au suivi approfondi des alvéoles doivent pouvoir fonctionner de façon fiable, sur des durées pluridécennales, dans des conditions d'environnement potentiellement agressives (rayonnement, température) avec des contraintes d'accessibilité. La « discrétion » de ces moyens est également recherchée pour ne pas perturber les conditions d'exploitation, dégrader la tenue des ouvrages, compromettre les fonctions de sûreté attribuées aux ouvrages ou les propriétés favorables du milieu, ni, autant que possible, interférer avec les phénomènes observés.

Afin de proposer des solutions adaptées à ces spécificités, un ensemble d'études et de réflexions ont été menées. Les développements portent sur :

- la stratégie d'auscultation, en particulier sur la répartition des ouvrages instrumentés au sein du stockage ;
- la conception d'unités d'auscultation suivant une démarche de qualification approfondie ;
- un ensemble de recherches et de développements pour adapter, compléter et qualifier les dispositifs d'auscultation.

La mise en place d'une stratégie d'observation-surveillance²²

La stratégie se doit d'abord de répondre à la spécificité d'une observation-surveillance sur une durée *a minima* séculaire. Bien que cette durée ne s'applique pas nécessairement à un ouvrage spécifique – elle se réfère plutôt à une durée globale avant fermeture du stockage – il en ressort néanmoins le besoin de concevoir un système d'observation-surveillance durable. Pour ce faire, la stratégie repose d'abord sur la mise en œuvre d'approches d'auscultations complémentaires : instrumentation à demeure complétée par des approches classiques d'inspections visuelles et des méthodes d'évaluations non destructives.

Cette démarche de redondance et de complémentarité est également déclinée pour l'instrumentation *in situ*. Au sein des unités d'auscultation, les capteurs seraient placés en surnombre d'une part, associés selon leur complémentarité d'autre part : des technologies

éprouvées aux côtés de capteurs innovants, des mesures localisées associées à des dispositifs réalisant des mesures réparties sur de grands linéaires. Cette combinaison d'approches et de moyens permet de renforcer la confiance dans la durabilité du système global.

La stratégie se doit aussi de trouver un équilibre entre les besoins d'observation-surveillance, les contraintes de mise en œuvre et les coûts afférents à l'auscultation des ouvrages. Nous devons à ce titre considérer la similarité des ouvrages types (alvéoles MA-VL, alvéoles HA, galeries souterraines...) et l'homogénéité des propriétés de la roche. Exploitant la similarité de certaines évolutions phénoménologiques attendues, la stratégie d'observation-surveillance propose de suivre une séquence d'ouvrages, dits pilotes, témoins courants et non instrumentés, dont la densité d'instrumentation *in situ* est progressivement réduite. Chaque ouvrage, ainsi désigné, a une fonction précise vis-à-vis de l'observation-surveillance. L'ouvrage « pilote » est choisi au sein des premiers ouvrages construits. Il doit répondre de façon exhaustive aux objectifs techniques d'auscultation. Il a vocation à devenir un ouvrage « témoin » dès lors qu'une série d'ouvrages identiques seraient construits. Ces ouvrages « témoins » sont choisis dans des localisations caractéristiques permettant une observation-surveillance pertinente. L'ouvrage « courant » est moins instrumenté, suivi par comparaison avec un ouvrage « témoin ». Les ouvrages non instrumentés ne contiendraient que les dispositifs indispensables à la sûreté d'exploitation. Ils pourraient faire l'objet d'inspections et de contrôles ponctuels notamment en mettant en œuvre des méthodes non destructives et ne nécessitant pas l'accès à l'ouvrage. Dans le cadre d'une gestion réversible, les choix de répartition d'ouvrages témoins, courants et non-instrumentés devront être réévalués au fur et à mesure de l'acquisition de mesures sur les premiers ouvrages. Ces décisions porteront autant sur le choix de mettre en œuvre plus ou moins d'ouvrages témoins ou courants que sur la sélection des phénomènes à suivre de façon plus ou moins intensive.

Le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne permet, d'ores et déjà, l'acquisition d'un retour d'expérience opérationnel. Il est équipé de plus de 2 000 capteurs, qui peuvent être suivis sur la durée, et utilise un système performant d'acquisition et de gestion de données. Il permet de qualifier *in situ* des dispositifs d'auscultation dans le contexte spécifique des argilites du Callovo-Oxfordien et est un lieu privilégié pour tester des démonstrateurs complets de dispositifs d'auscultation.

Le système d'observation-surveillance sera adapté aux différentes étapes de gestion du stockage. Après la fermeture, la sûreté sera, par essence, totalement passive. Toutefois, il est envisageable de prolonger la surveillance au-delà de cette fermeture, en étudiant des systèmes qui ne perturberaient ni le stockage, ni la couche d'argilites du Callovo-Oxfordien.

²² À ce titre, l'Andra coordonne le projet MoDeRn, un projet cofinancé par la Commission européenne dans le cadre du programme EURATOM (7^e PCRD) et auquel participent 18 partenaires présents en Europe, aux États-Unis et au Japon (Andra, Aitemin, DBE TEC, Enresa, Euridice, Nagra, NDA, NRG, Posiva, Rawra, RWMC, Sandia, UA, UEA, UGOT, GSL, ETH Zurich).



Dispositions envisagées pour l'observation-surveillance des alvéoles HA

Les alvéoles HA se caractérisent par un faible diamètre, une exposition au rayonnement et une température élevée, qui limitent la mise en place et l'utilisation de capteurs au sein même de l'alvéole. Les caractéristiques et l'évolution attendue des alvéoles étant semblables du fait de leur conception, l'observation-surveillance pourra s'effectuer sur un échantillon représentatif d'alvéoles. Les dispositions envisagées à ce stade des études sont illustrées dans la figure 17.

Des forages instrumentés à partir de galeries d'accès permettent d'ausculter la roche en champ proche. Ces forages peuvent ensuite être scellés. Ils permettront de suivre les conditions de chargement mécanique progressif du chemisage par des mesures de température, de pression interstitielle et de déformations de la roche. L'Andra examine également la possibilité de suivre directement ce chargement en instrumentant la surface externe d'un chemisage. Par ailleurs, l'environnement physicochimique au sein de l'alvéole pourra être surveillé au moyen de piquages en tête d'alvéole. Cela permettra un suivi des conditions de corrosion du chemisage et des colis et de la présence éventuelle d'eau.

Des essais sont programmés au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. Par exemple, le dispositif d'auscultation du chemisage sera testé *in situ*. La possibilité technique d'utiliser l'essai de fermeture d'un alvéole pour équiper le bouchon métallique de capteurs et de moyens de transmission, puis de suivre leur fonctionnement sur la durée, sera également étudiée.

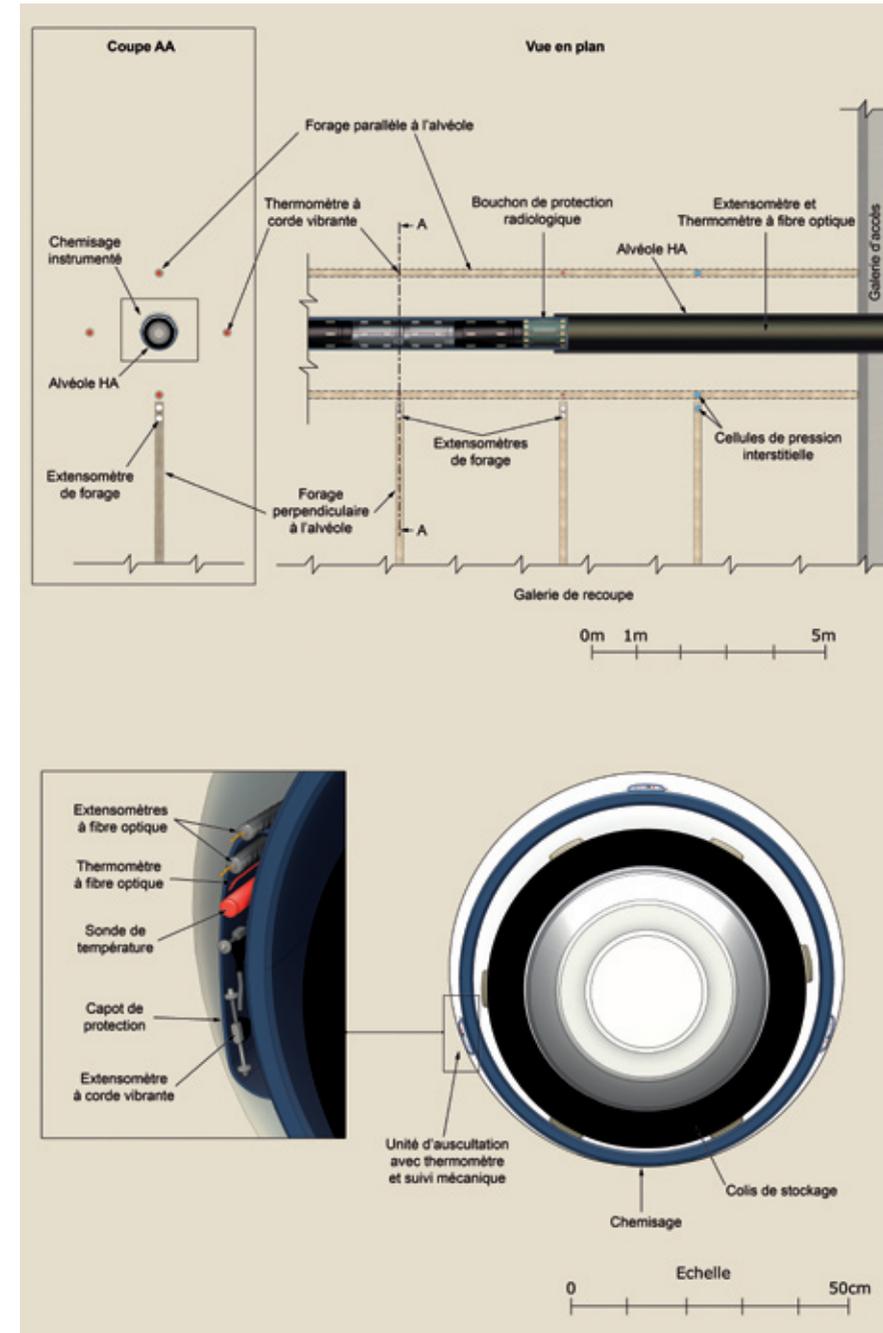


Figure 17 - Instrumentation d'un alvéole HA témoin

Dispositions envisagées pour l'observation-surveillance des alvéoles MA-VL

À la différence des alvéoles HA, les alvéoles destinés à accueillir les colis de déchets MA-VL sont peu exothermiques, associés à un environnement cimentaire (colis de stockage et revêtement) et présentent des caractéristiques dimensionnelles très différentes (notamment en diamètre). Ces données doivent être prises en compte pour adapter le dispositif d'observation-surveillance notamment aux processus hydriques et mécaniques qui interviendront lors de l'exploitation réversible du stockage.

Des capteurs peuvent être mis en place dans le revêtement de l'alvéole MA-VL et dans la roche lors de la construction de l'alvéole (cf. figure 18). Ils permettent de suivre l'évolution thermique, les déformations et l'hygrométrie dans différentes sections de l'alvéole. Ces mesures pourraient être complétées par d'autres, réparties par exemple au moyen de fibres optiques placées longitudinalement le long de l'ouvrage. Des méthodes d'auscultation non destructives, mises en œuvre sur des engins robotisés, et une unité d'auscultation de l'air de ventilation pourraient compléter également le dispositif d'observation-surveillance.

Cette instrumentation permettra de vérifier l'absence de dégradation des ouvrages et des colis de stockage pendant la phase d'exploitation. Les déformations observées seront prises en compte pour évaluer les conditions de récupérabilité.

La qualification *in situ* du système d'observation-surveillance est programmée dans la galerie test d'un revêtement rigide dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. Dans cette expérimentation, il est prévu de comparer des mesures de convergence réalisées par des méthodes traditionnelles avec des systèmes innovants. De plus, une méthode avancée d'auscultation des bétons pourrait être testée.

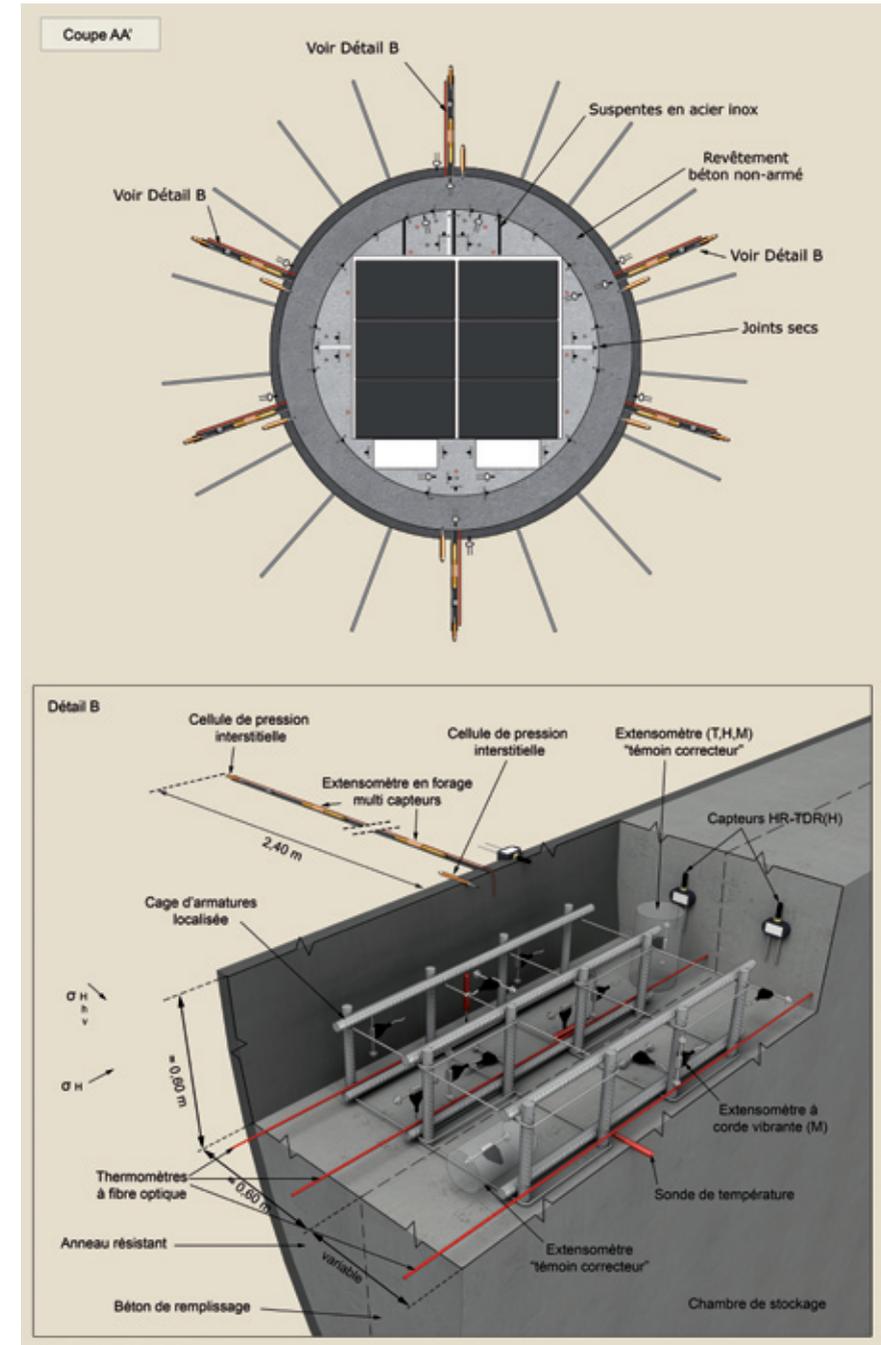


Figure 18 - Instrumentation d'un alvéole MA-VL

La recherche et développement pour se doter des outils adaptés

Les développements envisagés poursuivent et complètent ceux déjà engagés. D'une part, plusieurs instrumentations innovantes ont été proposées en piste de progrès des dispositifs d'auscultation. Elles font l'objet d'études approfondies dans le cadre d'un groupement de laboratoires fédérant universités, établissements publics et entreprises autour de la thématique des « moyens et stratégies d'auscultation »²³.

Nous noterons ainsi que, pour des mesures ponctuelles classiques de température et de déformation, le retour d'expérience du génie civil montre la disponibilité de moyens particulièrement robustes et durables (ils fonctionnent sur certains ouvrages tels que les barrages hydrauliques depuis plus de 50 ans). Une telle disponibilité de moyens durables n'est pas assurée pour d'autres types de mesures, en particulier les mesures chimiques. Par exemple, les capteurs existants pour mesurer la teneur en hydrogène de l'atmosphère des alvéoles nécessitent une maintenance et/ou des étalonnages réguliers et, par conséquent, seule une mesure par piquage sur la ventilation peut être envisagée à ce stade (et non pas un suivi réparti dans l'alvéole). Plusieurs études sur des capteurs chimiques sont en cours, en particulier le développement d'un spectromètre miniature à base de nanotechnologies, qui pourrait dans l'avenir permettre de pallier cette limitation. D'autres études sont engagées en vue de combiner les technologies éprouvées avec des éléments susceptibles de fournir une mesure chimique. Des études sur le développement de capteurs à fibre optique pouvant permettre d'effectuer des mesures chimiques comme celui montré dans la figure 19 sont également en cours.

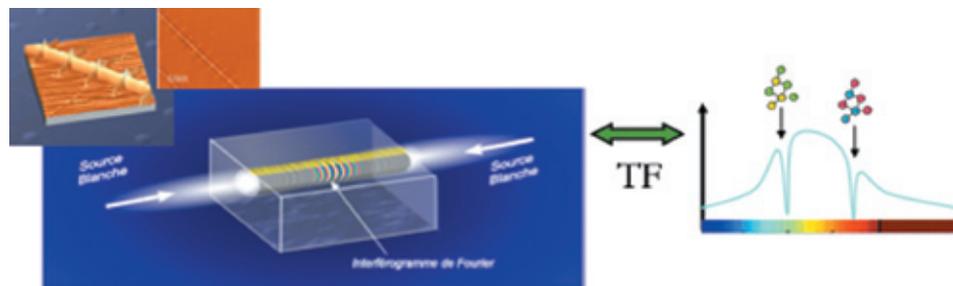


Figure 19 - Capteur à fibre optique exploitant l'absorption du spectre lumineux pour identifier et quantifier la présence de certaines molécules

²³ Le Groupement de laboratoires (GL) aborde aussi des sujets en amont, de la miniaturisation des capteurs jusqu'à des thématiques très applicatives envisageant d'ores et déjà la durabilité dans des ambiances de chantier de génie civil. Les partenaires du GL (Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), EDF R&D, Inéris, LAAS-CNRS, Laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC), Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), Pierre Arquié céramique technique (PACT), Université de Saint-Étienne, Université de technologie de Troyes (UTT)) travaillent ainsi avec des approches complémentaires.

De nombreuses étapes de qualification de technologies ont été engagées. Ainsi, un sujet nécessitant des développements ciblés est lié à la localisation des mesures d'intérêt particulier. En effet, l'objet de l'observation-surveillance étant de fournir des informations sur les évolutions susceptibles d'influer sur le comportement des ouvrages ou des colis, la question se pose de connaître l'endroit précis où ces évolutions seraient susceptibles de devenir contraignantes, en particulier dans le cadre de la gestion réversible. Une piste particulièrement intéressante est le développement de mesures réparties sur une fibre optique unique. Un test de mise en œuvre a été réalisé pour plusieurs fibres qui ont été intégrées dans la dalle en béton lors de la construction de l'Espace technologique à Saudron (figure 20). Des capteurs à fibre optique, permettant d'effectuer des mesures réparties de déformations, ont été noyés dans le dallage et placés sur la surface d'une poutre métallique de la charpente durant l'été 2008. L'analyse du signal traversant une fibre permet ainsi d'obtenir la répartition de température sur une longueur allant jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres de fibre. Les développements en cours permettent d'envisager avec confiance une telle répartition, qui peut aussi être mesurée pour la déformation locale. En septembre 2008, trois dispositifs destinés à évaluer l'humidité du béton ont été noyés dans les voiles de l'ouvrage R04E15 au Centre de stockage en surface de l'Aube (CSFMA) ; plus précisément, une unité complète d'auscultation du béton y a été mise en œuvre. D'ici 2015, deux prototypes importants seront réalisés au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne : l'instrumentation du chemisage métallique d'un ouvrage type « alvéole HA » fin 2010, l'instrumentation d'une section de galerie à revêtement béton type MA-VL en 2011. Par ailleurs, le durcissement des technologies aux radiations est engagé, tant pour les capteurs récents à base de fibres optiques que pour des capteurs très éprouvés tels que les extensomètres à corde vibrante.

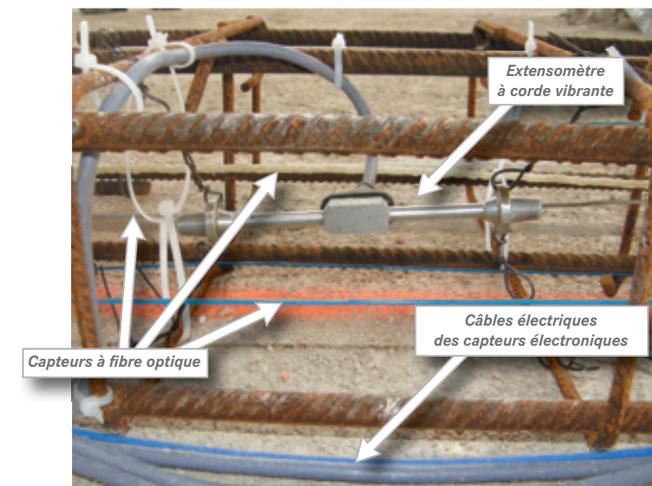


Figure 20 - Mise en œuvre de capteurs à fibre optique dans un ouvrage en béton armé, afin de fournir des mesures de température et de déformation réparties

Ce type de développement va aussi dans le sens de la « discrétion » des moyens mis en œuvre et donc peut être *a priori* mieux adapté au respect des fonctions de sûreté. En effet, une fibre optique unique avec sa gaine, de diamètre de l'ordre de quelques millimètres, est nettement moins intrusive que le grand nombre de capteurs ponctuels qu'il faudrait installer pour obtenir une répartition de mesures comparables.

Une autre piste suivie pour améliorer la « discrétion » du dispositif concerne les moyens de transmission de signaux. Cette question ne se poserait pas si la décision de fermer une partie du stockage (alvéole, module, etc.) engendrait celle d'abandonner toute mesure dans les ouvrages fermés. Cela ne devrait pas être le cas : les mesures de l'évolution d'ouvrages fermés fourniraient des informations d'intérêt pour les décisions de choix de gestion. Il s'agit notamment d'informer si un éventuel retour en arrière est possible dans le respect de la sûreté d'exploitation. La transmission sans fil, à travers la roche ou les ouvrages de fermeture, offre alors une alternative à la transmission filaire. Elle a plusieurs limitations techniques, notamment la distance à laquelle un signal peut être transmis et le besoin d'embarquer l'énergie nécessaire au fonctionnement en zone fermée (en l'absence de câble fournissant cette énergie). Les développements en cours comparent deux technologies disponibles et évaluent leurs performances sur la distance de transmission et sur la durée de fonctionnement, qui est couplée à la gestion de l'énergie disponible.

Enfin, les développements en matière de stratégie d'observation-surveillance intégreront les résultats récents d'analyses phénoménologiques, notamment afin d'évaluer l'importance relative des objectifs techniques d'auscultation d'évolutions phénoménologiques vis-à-vis des besoins de sûreté et de réversibilité.

L'ensemble des travaux de recherche et développement décrits ci-dessus donne une vision synthétique des efforts mis en œuvre pour réaliser les progrès technologiques nécessaires à l'obtention d'informations qui faciliteront la gestion réversible du stockage et les prises de décisions qui jalonnent l'exploitation des ouvrages souterrains. L'objectif fixé vise la mise en place de moyens de surveillance sensibles, efficaces, durables et discrets permettant de renseigner l'exploitant sur les évolutions des composants du stockage.

Bibliographie

AEN, 2001, *Reversibility and Retrievability in Geologic Disposal of Radioactive Waste Reflections at the International Level*, NEA Report 3140
<http://www.nea.fr/html/rwm/reports/2001/nea3448.pdf>

AEN, 2006, *Safety of Geological Disposal of High-level and Long-lived Radioactive Waste in France - An International Peer Review of the "Dossier 2005 Argile" Concerning Disposal in the Callovo-Oxfordian Formation*, NEA Report 6178
<http://www.nea.fr/html/rwm/reports/2006/nea6179-havl.pdf>

ANDRA, 1998, *International Workshop on Reversibility*, Paris, 25-27 November 1998

ANDRA, 2001, *Dossier 2001 Argile, Rapport de synthèse, Parties A et B*

ANDRA, 2005a, *Dossier 2005 Argile Synthèse - Évaluation de la faisabilité du stockage géologique en formation argileuse*
http://www.andra.fr/publication/produit/D05A_266.pdf

ANDRA, 2005b, *Dossier 2005 Argile. Tome Architecture et gestion du stockage géologique*
http://www.andra.fr/publication/produit/D05A_268_TAG.pdf

ANDRA, 2005c, *Analyse des niveaux de réversibilité d'un stockage en formation argileuse profonde - Site de Meuse/Haute-Marne*. C RP AHVL 04.0028

ANDRA, 2005d, *Observation et surveillance d'un stockage en formation argileuse profonde*. C.RP.AHVL.04.0029

ANDRA, 2009a, *APSS-Exploitation 2009*

ANDRA, 2009b, *Réversibilité et sciences sociales. Actes de la journée d'études du 2 octobre 2008*

ANDRA, 2009c, *Actes numériques du colloque interdisciplinaire « Réversibilité » (Nancy, 17-19 juin 2009)*

ASN, 2008, *Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde*

BARTHE Yannick, 2006, *Le pouvoir d'indécision. La mise en politique des déchets nucléaires*, Paris, Economica

CLIS, 2001, *Colloque « La réversibilité et ses limites »*
<http://www.clis-bure.com/pdf/colloques/colloque-rever.pdf>

CNDP, 2006, *Gestion des déchets radioactifs - Les suites du débat public*
http://www.debatpublic.fr/docs//decision_maitre_d_ouvrage/suites-debatpublic.pdf

CNE, 1998, *Réflexions sur la réversibilité des stockages*

CNE, 2006, *Rapport global d'évaluation des recherches conduites dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991*



3

La trajectoire argumentative de la réversibilité dans la gestion des déchets radioactifs

Pierrick Cézanne-Bert, Francis Chateauraynaud



La trajectoire argumentative de la réversibilité dans la gestion des déchets radioactifs

Pierrick Cézanne-Bert, Francis Chateauraynaud

Introduction

Le dossier nucléaire est marqué en France par une succession continue d'événements, d'annonces, de débats et de polémiques. Cette présence quasi quotidienne des questions nucléaires dans l'espace politico-médiatique est très liée à la configuration critique qui s'est formée depuis la fin des années 1990, avec un retour en force de la critique radicale et l'avènement d'un acteur-réseau doté d'une certaine puissance d'expression, le réseau Sortir du nucléaire¹. Constamment comparées à la situation allemande, les épreuves de force qui accompagnent le traitement des événements et des projets ne semblent pas pour autant créer d'inflexion majeure de la politique nucléaire française, dépeinte au contraire, surtout dans la presse étrangère, comme particulièrement ferme. Dans le tableau général du dossier nucléaire, la question des déchets radioactifs reste au cœur des préoccupations de multiples acteurs et, malgré la loi de 2006², l'avenir des différentes options, comme le stockage des déchets HA (haute activité) et MA-VL (moyenne activité à vie longue) en couches géologiques profondes, ou la création d'un centre de stockage pour des déchets FA-VL (faible activité à vie longue) font encore l'objet de controverses, même si de multiples acteurs considèrent que les décisions sont déjà prises.

Lors de la formalisation du projet de stockage profond, introduit dans la loi de décembre 1991 (dite loi Bataille)³, et pour lequel a été créé le Laboratoire souterrain à Bure, entre la Meuse et la Haute-Marne, le législateur a avancé l'idée de réversibilité, présente dans l'expression « stockage réversible ». Du même coup, cette idée de réversibilité a fait l'objet de nombreuses discussions, allant de tentatives pour la distinguer techniquement de celle de « récupérabilité » des déchets jusqu'à des charges critiques dénonçant une opération de communication animée par une fonction d'« acceptabilité sociale ».

L'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs), qui a en charge la responsabilité de l'axe 2 de la loi Bataille concernant l'étude des possibilités de stockage, réversible ou irréversible, des déchets radioactifs en couches géologiques profondes, est bien évidemment au cœur du dossier. Prise entre des tendances

contradictoires, rendues manifestes lors du débat public organisé par la Commission nationale du débat public (CNDP) en 2005 et 2006⁴, l'Agence a entrepris un travail de réflexion, croisant les points de vue d'ingénieurs et ceux de chercheurs en sciences sociales, autour de la notion de réversibilité. Au fil des échanges qui ont eu lieu, notamment lors d'une journée d'études à l'Andra au début du mois d'octobre 2008⁵, il est apparu que l'idée de réversibilité, contrairement à celle d'irréversibilité, renvoie aux nouveaux rapports établis entre science, technique et société, notamment dans le domaine du nucléaire. Cette étude prolonge ce travail de réflexion *via* une analyse systématique des répertoires argumentatifs engagés par la notion de réversibilité. Pour l'équipe du Groupe de sociologie pragmatique et réflexive (GSPR), il s'agit de s'appuyer sur les discours des acteurs du dossier de la gestion des déchets radioactifs HA et MA-VL pour comprendre comment ceux-ci s'emparent de la notion de réversibilité : quelle définition lui donnent-ils (s'ils en donnent une) ? Quels types d'arguments sont déployés pour justifier d'une définition plutôt que d'une autre ? La notion est-elle un argument mobilisé pour légitimer un point de vue⁶ ?

Pour le sens commun, le premier usage de la notion de réversibilité renvoie d'abord à la possibilité d'inverser le cours d'un processus : la réversibilité est le caractère de ce qui est réversible, c'est-à-dire de ce qui peut s'exercer ou se produire de nouveau en sens inverse. Il est ainsi courant de considérer qu'un mouvement est réversible dès lors qu'il est possible d'effectuer la trajectoire parcourue dans le sens inverse, alors que le temps est par essence irréversible, dès lors qu'il est admis qu'il ne nous est jamais donné de revivre le moment déjà vécu. Dans le cadre d'une controverse sur une décision publique, la notion de réversibilité pointe la possibilité de poursuivre une discussion sans devoir considérer que les choses sont « déjà décidées », « accomplies », « pliées », « entérinées », qu'« il n'est plus possible de revenir dessus ».

Au début des années 1990, dans un ouvrage collectif issu d'un colloque, des économistes se sont penchés sur la question de l'irréversibilité, en interrogeant les relations entre modélisations, phénomènes économiques et temps historique⁷. Ce qui ressort de la confrontation des approches, c'est une pluralité de figures de l'irréversibilité. En contrepoint, un même souci semble partagé par les auteurs : comment sortir du modèle d'équilibre économique standard, et comment introduire dans les modèles des formules dynamiques non linéaires empruntées au paradigme de la complexité qui s'est alors fortement développé dans les sciences⁸ ? Face à la diversité des approches

⁴ Voir le compte rendu du débat public sur les options générales en matière de gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (septembre 2005-janvier 2006), établi par Georges Mercadal, Président de la Commission particulière du débat public, et les membres de la commission, le 27 janvier 2006 : http://www.debatpublic.fr/docs/compte_rendu_compte_rendu_dechet.pdf.

⁵ *Réversibilité et sciences sociales, Actes de la journée du 2 octobre 2008*, Andra, 2009.

⁶ Les acteurs rencontrés ont pu s'interroger sur la finalité de notre étude. Précisons donc ici qu'il ne s'agit pas pour nous de participer à un travail de définition de la notion de réversibilité. Bien sûr, l'Andra étant le commanditaire de cette étude, l'Agence est parfaitement légitime pour utiliser notre rapport dans ses travaux ; mais le rapport étant rendu public, les acteurs intéressés ont eux aussi la possibilité, et bien évidemment toute la légitimité, de s'emparer de notre travail et d'alimenter leurs réflexions, de critiquer les analyses qui y sont développées, voire de dénoncer la dimension fallacieuse de cette notion.

⁷ R. Boyer, B. Chavance et O. Godard, *Les figures de l'irréversibilité en économie*, Paris, Éd de l'EHESS, 1991.

⁸ Voir, entre autres, M. M. Waldrop, *Complexity-The Emerging Science at the Edge of Chaos* (Touchstone Books, N.Y., 1993) ; D. Byrne, *Complexity Theory and the Social Science* (London, Routledge, 1998).

qui tendent à proliférer lorsque la complexité et la non-linéarité sont au programme, les coordonnateurs de l'ouvrage proposent de distinguer deux figures principales :

- l'irréversibilité entendue comme incapacité des acteurs à changer un état de choses ou à modifier le cours d'un processus (les usages opposant l'incapacité à maintenir un état de choses – on ne peut pas lutter pour le conserver – et le caractère irrévocable de ce qui a déjà eu lieu) ;
- l'irréversibilité comme impossibilité de retourner au point de départ ou de retrouver la même position par simple inversion de l'action : une transformation est dite irréversible si une modification symétrique ne permet pas de retrouver l'état initial, avec des variations selon que d'autres modalités d'action rendent possibles un retour au même point (par exemple en faisant annuler par la force ce qui a été conquis par le droit), ou qu'il n'est absolument plus possible de retrouver le même état (quelles que soient l'ampleur et la gamme de moyens utilisés, comme c'est souvent le cas dans les tentatives de restauration en matière de régime politique).

Face à ces discussions théoriques, utiles à une clarification conceptuelle, l'usage qui est fait de la réversibilité chez les ingénieurs du nucléaire est plus proche d'une définition technique dans laquelle « réversibilité » signifie « récupérabilité ». Cette conception se distingue d'une définition renvoyant au degré d'ouverture du processus de décision. L'usage qui a été fait de la « réversibilité » dans les discours et les textes politiques concernant les déchets radioactifs vise à la fois l'articulation de ces deux définitions et l'affirmation d'une volonté de maîtrise du processus par les décideurs politiques. Ces aspects ressortent clairement de l'analyse des répertoires argumentatifs, qui rendent visible une opposition entre deux définitions de la réversibilité, une conception minimaliste et une autre élargie : d'un côté les acteurs qui défendent un stockage géologique en manifestant une préférence pour la « confiance dans la géologie » pour confiner les déchets ; de l'autre, les acteurs favorables à un entassement en surface ou subsurface préférant faire « confiance à la société » dans sa gestion. L'opposition entre deux définitions de la réversibilité constitue ainsi l'axe structurant pour l'analyse des controverses sur l'avenir des déchets radioactifs en France et dans le monde.

Les réflexions développées dans cet article prennent appui sur un grand corpus de textes et sur des échanges avec différents acteurs du dossier. À partir de ce double matériel d'enquête, nous défendons l'hypothèse suivante : si la construction de la notion de réversibilité fait bien l'objet de controverses, cette dimension controversée ne concerne pas l'ensemble des acteurs du dossier puisqu'un certain nombre d'entre eux s'inscrit avant tout dans un conflit autour de l'implantation du centre de stockage géologique dans la région de Meuse/Haute-Marne. Dans une approche pragmatique, il apparaît nécessaire de prendre en compte cette dimension conflictuelle, indissociable des jeux de forces qui pèsent à la fois sur la trajectoire du dossier et sur les échanges argumentatifs autour de la réversibilité.

Les auteurs-acteurs⁹ de la controverse

Le jeu d'acteurs est marqué par la présence dominante d'instances d'évaluation, rédactrices de rapports sur la gestion des déchets ou la notion de réversibilité, comme la Commission nationale d'évaluation (CNE) ou l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST); de l'Andra, qui a en charge sa gestion; d'instance de débats, comme la CNDP, le Comité local d'information et de suivi (Clis) du laboratoire de recherche souterrain de Bure ou les Entretiens européens; des collectifs contre l'enfouissement des déchets (AEMHM); et dans une moindre mesure les acteurs antinucléaires, comme le réseau Sortir du nucléaire, ou des experts indépendants, comme l'Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'ouest (ACRO).

Le premier auteur du corpus mobilisant la notion de réversibilité dans ces textes est l'Andra. Si ce résultat n'est pas à proprement parler une surprise, il témoigne tout de même du fait que le thème de la réversibilité reste en grande partie confiné dans les instances de gestion et de contrôle de la gestion des déchets radioactifs. Ce résultat est encore conforté par la place relativement reculée des médias dans cette hiérarchie des auteurs de la réversibilité : *Libération* et *Le Monde* n'arrivent respectivement qu'en 16^e et 18^e place du classement. Les deux autres auteurs principaux de la réversibilité sont la CNE et le Clis de Bure. La CNE a publié plusieurs rapports, dont un portant spécifiquement sur la notion de réversibilité, en juin 1998. Le Clis de Bure est l'auteur du compte rendu d'un colloque sur la réversibilité et ses limites en mars 2001, dans lequel étaient présents les principaux acteurs du dossier. Ces deux documents importants en volume rendent compte, pour une bonne part, de la place dominante de la CNE et du Clis de Bure en tant qu'auteurs dans notre corpus. Ces deux documents servent aussi de référence aux différents auteurs-acteurs du corpus, qui vont régulièrement en extraire des citations pour construire leur propre argumentation.

Ce sont les exploitants (parmi lesquels on trouve principalement l'Andra) qui parlent le plus de la réversibilité, aussi bien en score absolu qu'en score relatif. Viennent ensuite les instances de concertation (essentiellement le Clis de Bure) et les rapporteurs officiels (la CNE, l'OPECST, les députés Christian Bataille et Claude Birraux, le Collège de la prévention des risques technologiques). Les instances de concertation et les rapporteurs officiels ont toutefois un score relatif inférieur à celui attendu, étant donnée leur présence dans le corpus ; par ailleurs, les instances de concertation, comme le Clis de Bure, ont un score relatif deux fois plus élevé que celui attendu.

Parmi les auteurs qui obtiennent un score relatif supérieur à celui attendu, le Gouvernement et les parlementaires sont remarqués : ceci s'explique par la présence dans le corpus des questions parlementaires précédant la loi Bataille, où la réversibilité a bien été l'un des thèmes abordés.

⁹ Les auteurs-acteurs sont des auteurs de documents du corpus qui apparaissent aussi dans les textes comme acteurs cités par d'autres auteurs.



Les autres auteurs ayant un score élevé en valeur absolue sont les opposants au nucléaire ou à l'enfouissement, et les journalistes. Mais pour ces deux catégories d'auteurs, le score relatif est nettement inférieur à ce que laisserait supposer leur poids relatif dans le corpus : les opposants obtiennent un score relatif deux fois moins élevé¹⁰ ; les journalistes, un score trois fois moins élevé. Si la réversibilité est l'un des points d'appui des opposants pour dénoncer le projet de stockage, elle n'est cependant pas au cœur de leur argumentation contre l'enfouissement.

Ce tableau confirme encore une fois un résultat que nous avons déjà pu constater : le thème de la réversibilité est une question technique, portée essentiellement par les ingénieurs de l'Andra et les acteurs locaux participant au Clis de Bure. La notion, quand elle est reprise par les autres auteurs-acteurs, est incorporée à un contexte plus large : par exemple la gestion des déchets radioactifs pour les journalistes ; le conflit autour du projet de stockage profond pour les opposants au laboratoire de Bure.

Statut des auteurs de la réversibilité	Score	Mesure des écarts*
Exploitants	1 264	1 079
Instances de concertation	782	225
Instances et rapporteurs officiels	734	83
Opposants au nucléaire ou à l'enfouissement	279	50
Journalistes	246	32
Organismes de contrôle officiel	190	85
Organisateurs du débat public	163	69
Experts indépendants	126	37
Chercheurs en sciences sociales	122	43
Gouvernement	64	156
Organes ou porte-parole politiques	38	48
Agences de presse	28	30
Presse locale	28	34
Parlementaires	27	186
Experts étrangers	10	24
Presse alternative	5	119
Scientifiques pronucléaires	4	2
Acteurs publics du nucléaire	2	26
Médecins/épidémiologistes	1	1

* Calcul pondéré tenant compte du volume relatif de pages attribué à chaque support.

Type de supports	Score		Type de supports	Score	Mesure des écarts
Comptes rendus	1 115	591	Agences de presse	24	30
Rapports	738	132	News et magazines	19	10
Communications/colloques	336	528	Lettres de prospective	19	525
Auditions	210	705	Ouvrages	16	3
Réunions de débat public	163	69	Enquêtes publiques	13	311
Sites Internet	140	148	Lettres	12	717
Périodiques critiques	131	46	Débats parlementaires	12	358
Notes	130	1 771	Synthèses	10	717
Presse quotidienne nationale	107	29	Radios	9	124
Communiqués de presse	96	120	Presse nucléaire	8	159
Presse sectorielle	94	316	Textes juridiques	7	19
Articles scientifiques	69	280	Presse professionnelle	6	195
Notes techniques	68	587	Lettres ouvertes	6	69
Réponses à une question parlementaire	61	231	Revue	5	20
Presse nationale	57	148	Revue spécialisée	4	119
Lettres d'information	43	596	Conventions/recommandations	4	21
Presse quotidienne régionale	40	37	Notes d'information	3	179
Presse économique	39	90	Tracts	1	119
Documents de travail	39	1 564	Presse gratuite	1	89
Internet	38	50	Magazines sur l'environnement	1	27
Textes parlementaires	29	135	Documents intermédiaires	1	8
Questions parlementaires	24	183	Avis	1	39

Ce tableau témoigne à nouveau du confinement du thème de la réversibilité dans des sphères rassemblant des acteurs prenant part directement aux réflexions sur la gestion des déchets radioactifs HA et MA-VL. Les principaux documents sont des communications lors de colloques ou des comptes rendus de débats, des rapports ou des synthèses de rapports, des auditions publiques ou des contributions à des enquêtes publiques. Les périodiques critiques et la presse quotidienne régionale sont sous-représentés, ce qui laisse penser que la notion de réversibilité est faiblement reprise en tant que telle par les acteurs critiques et/ou les acteurs locaux. Notons qu'un phénomène semblable à été observé sur un tout autre front, celui des « faibles doses », dont le jeu de langage reste encore assez fortement confiné dans des arènes de spécialistes et d'instances officielles, en dépit des controverses multiples à leur sujet.

S'il est tenu compte du poids relatif de chacun des textes, le confinement du traitement du thème de la réversibilité dans des sphères où s'impose le registre d'experts et/ou de décideurs est encore renforcé. La densité la plus forte se trouve dans un document de travail du CEA, *Contribution du CEA à la réflexion sur la réversibilité des stockages*, qui fait suite au conseil interministériel du 2 février 1998. Dans ce

¹⁰ Notons toutefois que les opposants se sont souvent exprimés dans les réunions du Clis de Bure.



texte, le CEA rappelle les trois axes de la loi Bataille, et prend soin de distinguer les notions de stockage et d'entreposage, que les auteurs-acteurs du dossier différencient le plus souvent de manière très confuse, en précisant que l'entreposage est une solution provisoire, indépendamment des modalités techniques déployées, alors que le stockage est une solution définitive. Notons au passage que les opposants à l'enfouissement prennent régulièrement appui sur le flou autour de quelques notions centrales du dossier pour nourrir leur charge critique. L'extrait ci-dessous d'un communiqué de l'Association des élus meusiens opposés à l'implantation du laboratoire en vue de l'enfouissement des déchets nucléaires et favorables à un développement durable (AEM)¹¹, ironisant sur la décision interministérielle du 9 décembre 1998, en est l'illustration :

« Un stockage “définitif avec réversibilité”, nous dit le communiqué du Gouvernement. Cela prêterait à sourire si la décision qui vient d'être prise n'était pas si grave. »

Les définitions (et motivations) données à la notion de réversibilité

Dans les mondes anglo-américains, trois notions désignent la réversibilité : *reversibility* (réversibilité), c'est la réversibilité de la décision, c'est un concept managérial ; *retrievability* (accessibilité), c'est la récupérabilité des colis de déchets ; *recoverability* (valorisation), c'est la récupérabilité des déchets eux-mêmes. Dans notre corpus, la distinction entre ces trois définitions est beaucoup moins nette. Les énoncés font le plus souvent référence à deux acceptions de la notion : la récupérabilité, comprise comme le maintien d'une accessibilité aux colis de déchets ; la réversibilité du processus décisionnel, permettant de laisser aux générations à venir une liberté de choix quant au mode de gestion. Cependant, cette différenciation, bien que présente, n'est pas toujours aussi nette, la récupérabilité étant perçue comme le mode technique opératoire pour maintenir ouvert l'espace des options possibles, soit une réversibilité effective de la décision.

Plusieurs arguments sont mobilisés dans les énoncés, soit comme des motivations possibles pour la réversibilité, soit comme des obstacles à sa mise en œuvre : le principe de précaution ; les générations futures ; les progrès scientifiques et technologiques ; la mémoire du site ; la confiance dans la société opposée à la confiance dans la géologie ; le principe de sûreté du stockage ; la durée de la réversibilité.

L'analyse du réseau des entités présentes dans le corpus¹² montre que la question

¹¹ Cette association va peu à peu s'élargir, pour devenir l'AEMHM (Association des élus meusiens et haut-marnais opposés à l'implantation du laboratoire en vue de l'enfouissement des déchets nucléaires et favorables à un développement durable) puis l'EODRA (Association des élus de Lorraine et de Champagne-Ardenne opposés à l'enfouissement des déchets radioactifs et favorables à un développement durable).

¹² Une entité est un acteur, humain ou non humain, qui a une représentation verbale dans le corpus étudié.

de la réversibilité est très liée – ce qui n'est pas une surprise – au choix du mode de gestion des déchets radioactifs (forte présence des entités choix et gestion), avec un arbitrage entre les techniques de stockage et/ou d'entreposage. En tête de réseau, on trouve le stockage : la plupart des textes du corpus qui argumentent sur la notion de réversibilité le font à propos du stockage des déchets ; la présence de l'être-fictif¹³ ANDRA@ va évidemment dans ce sens. La sûreté fait également partie des entités de tête dans ce réseau : les instances d'évaluation et des organismes de recherche rappellent régulièrement dans leurs documents que la mise en œuvre de la réversibilité ne doit pas se faire au détriment de la sûreté du stockage des déchets. La forte présence du politique est aussi notée avec l'existence des êtres-fictifs ÉTAT-CENTRAL@ et PARLEMENT@, et, inévitablement, de la « loi », puisque l'essentiel du corpus se développe entre deux lois (1991/2006).

Pour approcher la manière dont les auteurs-acteurs thématisent et problématisent la réversibilité, regardons ce que nous renvoie une formule comme : /ENTITÉ de réversibilité. Le tableau ci-dessous rend compte des formules apparaissant au moins deux fois dans le corpus

ENTITÉ de réversibilité	Score	ENTITÉ de réversibilité	Score
Notion(s) de réversibilité	150	Attentes en matière de réversibilité	3
Niveau(x) de réversibilité	85	Contrainte de réversibilité	3
Concept de réversibilité	72	Démarche de réversibilité	3
Principe de réversibilité	67	Possibilités de réversibilité	3
Condition(s) de réversibilité	56	Récupérabilité et réversibilité	3
Scénario(s) de réversibilité	34	Affaire de réversibilité	2
Période de réversibilité	28	Aspect de réversibilité	2
Phase(s) de réversibilité	25	Besoin de réversibilité	2
Durée(s) de réversibilité	21	En matière de réversibilité	2
Exigence de réversibilité	20	Concepts de réversibilité	2
Échelle de réversibilité	18	Contexte de réversibilité	2
Terme(s) de réversibilité	18	Critères de réversibilité	2
Degré de réversibilité	17	Délai de réversibilité	2
Option(s) de réversibilité	12	Démonstration de réversibilité	2
Obligation de réversibilité	11	Distinction entre réversibilité	2
Idée de réversibilité	8	État(s) de réversibilité	2
Problème(s) de réversibilité	7	Irréversibilité et réversibilité	2
Étude de réversibilité	6	Approche de réversibilité	2
Garantie(s) de réversibilité	6	Norme(s) de réversibilité	2
Demande de réversibilité	6	Objectifs de réversibilité	2
Question de réversibilité	6	Opérations de réversibilité	2
Absence de réversibilité	5	Perspective de réversibilité	2
Impératif de réversibilité	5	Perspectives en matière de réversibilité	2
Situation de réversibilité	5	Recherche de réversibilité	2
Caractère de réversibilité	4	Techniques de réversibilité	2
Dispositif(s) de réversibilité	4	Type de réversibilité	2
Modalités de réversibilité	4	Valeur de réversibilité	2
Sûreté et réversibilité	4		

¹³ Les êtres-fictifs d'un corpus relient naturellement des entités autour d'un noyau référentiel relativement stable. Un être-fictif regroupe l'ensemble des façons de désigner un acteur du dossier, humain ou non humain. L'ajout du symbole « @ » permet de distinguer les êtres-fictifs des autres entités présentes dans le corpus lorsque l'on travaille avec le logiciel d'analyse de données textuelles Prospero.



La réversibilité est d'abord une notion... à définir

La réversibilité est d'abord pour les auteurs-acteurs une idée (« notion », « concept », « terme » ou « idée de réversibilité »). Le score le plus important est réalisé par « notion de réversibilité » avec 150 occurrences dans le corpus. Or, si le terme de « notion » peut avoir pour synonyme « idée », ou encore « concept », dans son usage le plus courant il signifie « connaissance intuitive ». Ceci souligne l'une des propriétés du corpus : les auteurs-acteurs mobilisent l'entité réversibilité le plus souvent sans la définir précisément, supposant une compréhension intuitive du terme par leurs interlocuteurs. C'est un point régulièrement mis en exergue par les auteurs du corpus : la loi Bataille, qui a introduit le terme, n'a cependant pas donné de définition à la notion ; c'est l'Andra qui va faire ce travail, notamment sur un plan technique, la CNE (ou encore l'AEN) élargissant la notion au processus décisionnel. En 1992, dans une note technique analysant les documents réglementaires à propos de la réversibilité dans le stockage profond, un ingénieur de l'Andra remarque :

« La notion de réversibilité n'est pas définie explicitement dans le texte de la loi ; celle-ci se borne à déclarer que les produits dangereux doivent être retirés à l'expiration de l'autorisation. ».

Il existe différents niveaux de réversibilité

La deuxième expression du corpus est « niveau(x) de réversibilité ». Nous retrouvons cette idée d'une gradation de la réversibilité lorsque les auteurs du corpus parlent d'échelle ou encore de degré de réversibilité. L'Andra est le principal acteur à utiliser l'expression « niveau(x) de réversibilité » ; les autres auteurs sont la CNE, le Clis de Bure et les Commissions locales d'information (Cli). Elle est employée lors du colloque « La réversibilité et ses limites » organisé par le Clis de Bure en mars 2001, par exemple au cours de l'intervention de François Jacq, alors directeur général de l'Andra :

« Se pose tout d'abord la question de la réversibilité du point de vue de la durée et des degrés ou niveaux de réversibilité (...) Pour être extrêmement schématique, on pourrait dire que le tout premier niveau de réversibilité, c'est un entreposage, et le dernier niveau, cela serait, même si lui-même peut rester réversible, la fermeture d'un éventuel stockage. »

Le principe de réversibilité s'impose comme une norme

Dans notre tableau /ENTITÉ de réversibilité, « principe de réversibilité » est la 4^e expression du corpus en nombre d'occurrences. Cette portée normative de la notion de réversibilité se retrouve dans des expressions comme « éthique » ou « valeur de réversibilité ».

L'expression est la plus abondamment citée dans une étude juridique sur le principe de réversibilité du stockage des déchets¹⁴ réalisée pour l'Andra en juin 1998, dont nous reproduisons un large extrait ci-dessous :

« D'autre part, le principe de l'étude de la réversibilité des déchets s'impose à l'exploitant d'une installation d'élimination de déchets par stockage.

En d'autres termes, l'application du principe de réversibilité tend aujourd'hui à assurer que toute nouvelle installation d'élimination de déchets y compris radioactifs et sous réserve des dispositions spéciales qui leur sont applicables, réponde à des normes de réversibilité garantissant que, dès lors qu'elle serait décidée, la valorisation des déchets sera menée à bien. De surcroît, à compter du 1^{er} juillet 2002, le principe de réversibilité garantira que tous les déchets stockés pourront être valorisés, dès lors que des techniques appropriées seront disponibles. Une telle application du principe pour le stockage des déchets radioactifs ne pourra donc être exclue.

En l'état actuel de la législation, l'exploitant d'une installation de stockage se trouve donc dans l'obligation de montrer que les conditions de stockage retenues permettent d'assurer l'application effective du principe de réversibilité. Par voie de conséquence, l'exploitant doit démontrer que le traitement envisagé s'apparente à un entreposage plutôt qu'à un stockage brut des déchets. On doit également considérer qu'il faut, à tout le moins, établir un argumentaire justifiant, le cas échéant, l'impossibilité de procéder au stockage réversible en principe requis. »

La réversibilité évoque aussi un impératif qu'il faut mettre en œuvre : on parle d'exigence, d'impératif, d'obligation, de demande, de contrainte de réversibilité.

Les conditions de la réversibilité sont à prévoir

L'Andra puis le Clis de Bure sont également les principaux auteurs des « conditions de la réversibilité ». Elles évoquent l'anticipation des modalités pratiques de sa mise en œuvre, l'anticipation de différents scénarios possibles. Cette idée est présente dans une intervention d'un ingénieur de l'Andra, lors d'une réunion de la Cli du Gard, en juin 1995 :

« Je vais vous présenter la façon concrète dont l'Andra traite la question de la réversibilité. (...) L'analyse qui est entreprise dans le cadre des recherches en laboratoire souterrain devra justement permettre de proposer, à l'issue de ce programme en 2006, des conditions de réversibilité satisfaisantes, c'est-à-dire techniquement réalisables et démontrables. Il faudra prouver ce que l'on dira. »

¹⁴ Précisons que cette étude de Jean-Pierre Boivin porte sur les déchets au sens large, et non exclusivement sur les déchets radioactifs.



La réversibilité est une phase dans l'option de stockage

L'opération de traduction technique de la notion de réversibilité qu'elle doit effectuer, ainsi que la définition de modalités concrètes de sa mise en œuvre, conduit l'Andra à préciser les échelles de temps envisagées pour la réversibilité. La réversibilité est alors associée à une phase, période, durée de réversibilité. L'idée que la réversibilité correspond à une période d'une durée limitée apparaît rapidement dans les travaux de l'Andra, par exemple dans une étude de mars 1997 décrivant les principales dispositions en matière de réversibilité pour des concepts de stockage de déchets HA/MA-VL dans le Gard :

« Sa durabilité de deux cents ans garantit le maintien du jeu fonctionnel pendant la période de réversibilité (niveaux 1, 2 et 3). Ceci permettra, pendant cette période, la reprise des colis, que le jeu fonctionnel soit colmaté ou non. »

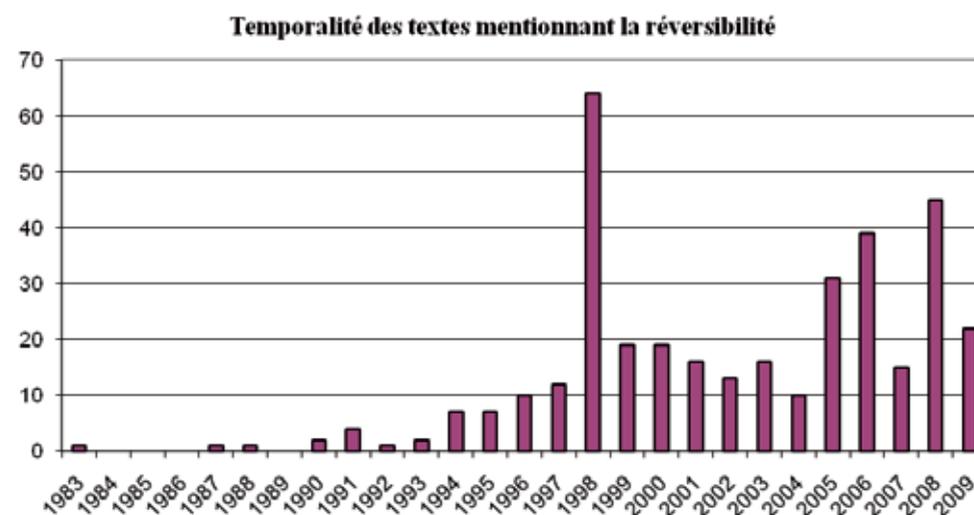
Cette durée limitée de la réversibilité, correspondant à une phase dans la gestion d'un centre de stockage, est le principal angle d'attaque des opposants à l'enfouissement : si la réversibilité n'est effective que pour un intervalle de temps donné, c'est bien que l'horizon de l'enfouissement des colis est l'irréversibilité de leur stockage. C'est ainsi que le collectif « Bure Stop » analyse une interview du président de l'Andra au journal *Le Monde*, en avril 2000 :

« Décryptage du langage du président de l'Andra, Yves Le Bars (...)

Mais, dès que la période de réversibilité provisoire (forcée même en phase d'exploitation) sera terminée, on procédera par nécessité, pour essayer d'éviter toute venue d'eau, à un colmatage absolu avec scellement des puits et galeries. La CNE distingue ainsi une phase *Après scellement* puis ajoute : "À plus long terme, et, en particulier, si l'intégrité de confinement des colis n'est plus garantie, le terme de réversibilité perd son sens propre". On sera donc dans une situation d'irréversibilité caractéristique du stockage en profondeur, pour des raisons techniques incontournables tenant au principe même de ce stockage, même si on est passé un moment par une phase où on pourrait parler de *stockage en profondeur très provisoirement réversible* et où on oubliera bien sûr le *très provisoirement*. »

Le déploiement de la notion de réversibilité dans le corpus

Le diagramme reproduit ci-dessous présente la temporalité des documents du corpus mentionnant la notion de réversibilité, sous l'une des formes lexicales suivantes : réversibilité(s) ; réversible(s).



Une étonnante stabilité des arguments

L'histogramme de la Réversibilité¹⁵ montre que le terme est quasiment absent des textes du corpus avant l'année 1990. Un rapide rappel historique permet d'expliquer ce résultat. Les reconnaissances géologiques menées pour la faisabilité d'un laboratoire souterrain à partir de 1988 par l'Andra, qui est encore à l'époque une entité au sein du CEA, ont provoqué localement des oppositions si vives, et parfois violentes, que les scientifiques ont dû renoncer à leurs travaux. Le 9 février 1990, le Gouvernement Rocard décide un moratoire sur la gestion des déchets hautement radioactifs, et saisit le Parlement. Le député Christian Bataille a alors pour mission de rédiger un rapport proposant une remise à plat du processus de décision. Ce travail est conclu par la promulgation de la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 qui organise la recherche sur la gestion des déchets radioactifs en trois axes : la séparation-transmutation ; le stockage géologique ; l'entreposage de longue durée. Le deuxième axe de la loi introduit explicitement la notion de réversibilité, les recherches menées par l'Andra devant concerner « l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains ». C'est donc bien la loi Bataille qui introduit la notion dans l'espace public.

Ce bref rappel historique montre que la réversibilité entremêle dès son émergence publique dans le dossier une dimension conflictuelle et une dimension controversée. Conflictuelle, parce que la notion est introduite dans une loi qui vient mettre fin à trois années d'oppositions virulentes à un projet violemment rejeté par les populations concernées ; controversée, car la loi en fait une possibilité parmi d'autres concernant un mode de gestion donné des déchets radioactifs, les études scientifiques devant permettre de décider de l'opportunité d'un stockage réversible.

Pour compléter cet aspect historique, mentionnons ici que le premier document de notre corpus faisant explicitement référence à la notion de réversibilité est un article du CEA du 1^{er} mars 1983, intitulé « L'Andra, un service public pour une gestion sûre des déchets radioactifs ». Ce texte présente la mission de l'Andra : concevoir la gestion des déchets à vie longue. Si le terme « réversibilité » n'y est pas expressément présent, il présente la réalisation d'un laboratoire souterrain comme une installation réversible. Le papier du CEA énonce clairement que les ingénieurs ont construit une solution pour la gestion de ces déchets ; il s'agit désormais de la mettre en œuvre en implantant des laboratoires permettant d'étudier les différents types de roche susceptibles d'accueillir les déchets. La conception de la notion de réversibilité n'est pas précisée dans ce cours texte, mais elle ne semble pas concerner le mode de stockage lui-même, qui est alors envisagé comme une solution définitive au problème des déchets à vie

¹⁵ Réversibilité@ regroupe ici les entités suivantes : réversibilité(s), irréversibilité(s), réversible(s) et irréversible(s). Il s'agit donc d'un usage minimal de l'outil être-fictif ; dans un usage étendu, un terme comme « récupérabilité » devrait en toute logique être l'un des représentants de Réversibilité@, puisque la plupart des auteurs utilisent ce terme en référence à la notion de réversibilité. Cette facilité d'écriture a tout de même été retenue dans la mesure où elle nous a permis de mesurer d'une façon simple la présence de l'entité réversibilité dans les textes du corpus.

longue, mais la phase d'expérimentation permettant de valider le choix du stockage profond.

« Les options techniques étant définies, il faut maintenant franchir une nouvelle étape en réalisant un ou plusieurs laboratoires souterrains. Ces laboratoires sont destinés à permettre la caractérisation des milieux géologiques au sein desquels les déchets pourront être stockés à long terme.

Une installation pilote devra ensuite être réalisée pour qualifier les solutions techniques qui seront mises en œuvre. Au-delà d'une première phase d'expérimentation, cette installation, conçue pour être réversible, pourrait être transformée en centre de stockage définitif si l'expérience acquise confirme le bien fondé de l'option choisie pour garantir que le stockage satisfait aux objectifs de protection à long terme. »

Il est frappant de noter que dans ce texte de 1983 la réversibilité est déjà envisagée comme une phase transitoire avant la fermeture de l'installation et sa transformation en centre de stockage définitif. Ce point est encore aujourd'hui un enjeu de nombre des discussions autour de la notion : peut-on réellement parler de réversibilité si la finalité envisagée pour le stockage est sa fermeture définitive ? L'argument quant à la réalité du concept de réversibilité tel qu'il est développé dans les travaux de l'Andra est ainsi régulièrement mobilisé par les opposants à l'enfouissement.

Le premier document du corpus mentionnant formellement l'entité réversibilité est daté du 11 janvier 1988 ; il s'agit d'un article publié dans le magazine *Géo*, intitulé « Les funérailles de l'atome ». La réversibilité ne semble pas alors être envisagée dans les projets de l'Andra, le principe paraissant incompatible avec l'exigence de sûreté à laquelle se doit de répondre l'agence. Mais l'idée d'enfouir de la matière radioactive inquiète déjà : comment garantir que les radionucléides ne remonteront pas à la surface ?

« Réversibilité ? Le mot fait sursauter le patron de l'Andra : “Voyons, si on conservait un accès vers les colis, cela nuirait à la sûreté et à l'étanchéité des sites”. Les fossoyeurs se contentent donc d'enterrer les sarcophages, mais ils reboucheront le mausolée avec de l'argile spéciale très compacte, la bentonite. Et si les morts-vivants se réveillaient ? À l'Institut Curie, le docteur Gongora garantit que son établissement est apte à faire face à un éventuel Tchernobyl. »

De même que dans l'extrait précédent, nous pouvons noter une certaine permanence des arguments : la durée limitée de la réversibilité dans le texte du CEA ; la question de la compatibilité entre un principe de sûreté et un principe de réversibilité dans l'article du magazine *Géo*¹⁶. La stabilité des arguments est en effet un résultat important de notre étude : sans prétendre que tout est immobile dans le dossier (de façon à intégrer le principe de réversibilité dans ses travaux de recherche, l'Andra a

¹⁶ Notons que l'Andra a répondu à l'apparente contradiction entre sûreté et réversibilité en concevant un concept de réversibilité d'une durée limitée. C'est précisément parce que le centre de stockage doit être refermé un jour, sans intention de récupérer les colis, que le stockage géologique reste le mode de gestion le plus sûr dans les évaluations des ingénieurs.



par exemple largement fait évoluer certains aspects dans la conception technique du stockage géologique), les principales controverses et polémiques autour de la notion de réversibilité sont structurées par un nombre de questions ou d'oppositions qui ne varie que très peu : confiance dans la géologie ou dans la société ; compatibilité entre réversibilité et sûreté du stockage ; réversibilité sans limite ou à durée limitée ; etc.

La réversibilité érigée en principe

Dans l'histogramme de la réversibilité ci-dessus, trois pics principaux apparaissent : en 1998 (89 textes) ; en 2005 (63 textes) et 2006 (47 textes) ; en 2008 (67 textes). Le pic de 2008 s'explique aisément par un effet d'enquête, le débat public de la fin de l'année 2005 sur la gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue expliquant quant à lui en grande partie les pics de 2005 et 2006. L'année 1998 est, quant à elle, une année charnière du dossier, lorsqu'elle est appréciée au prisme de la notion de réversibilité.

Au cours de cette année, la CNE répond à une demande du Gouvernement du 2 février 1998, qui lui demande un rapport sur la réversibilité, rapport remis au mois de juin ; pour répondre à cette demande, la CNE organise des auditions des principaux acteurs du dossier. À la fin de l'année 1998, le Gouvernement décide la construction d'un laboratoire à Bure dans l'argile de la Meuse (c'est le Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne), et de poursuivre les recherches pour trouver un site dans le granite. Le relevé de conclusions de la réunion interministérielle du 9 décembre 1998, qui retient « la logique de réversibilité », confirme que la réversibilité s'est désormais imposée comme une exigence incontournable.

« Dès lors, pour des raisons d'exigence d'ordre éthique, la condition de l'acceptabilité des décisions tient à leur réversibilité : il est capital que les générations futures ne soient pas liées par les décisions déjà prises et puissent changer de stratégie, au vu des évolutions techniques ou sociologiques intervenues. »

Au cours de cette année, la question de la réversibilité a aussi été très présente dans les débats parlementaires, notamment portée par des députés comme François Dosé, qui en fait une condition de l'acceptation du projet par les acteurs locaux. Le député-maire de Commercy, dans la Meuse, rappelle dans une interview au journal *La Croix*, « Les Meusiens qui acceptent l'idée le font avec beaucoup de précautions », la condition *sine qua non* de l'acceptation de l'implantation d'un futur laboratoire de recherche par le conseil général :

« Le conseil général de la Meuse a accepté à l'unanimité la candidature pour la réalisation d'un laboratoire avec une clause sur laquelle les élus meusiens et moi-même camperons fermement : la réversibilité ».

L'année 1998 marque donc un tournant dans le dossier : la réversibilité étant devenue un impératif pour le stockage géologique, les opposants à l'enfouissement n'auront alors de cesse de dénoncer cette notion comme un argument fallacieux uniquement destiné à obtenir l'assentiment des acteurs locaux. Une précision s'impose toutefois : si les charges critiques se systématisent à partir de cette date, elles étaient présentes bien avant l'année 1998. L'extrait suivant, qui illustre une technique de reprise argumentative consistant à interpréter le sens d'une notion ou d'une proposition sans la prendre en charge complètement, en témoigne. Typiquement, les opposants tentent de rendre manifeste et intelligible la stratégie d'acceptabilité utilisée par l'Andra :

réversibilité = crédibilité = confiance du public

« De l'aveu même du ministère de l'Industrie et de l'Aménagement du Territoire, “une réversibilité facile n'est pas souhaitable”. Il est clair que le stockage sera entrepris dans l'idée d'un enfouissement définitif. D'ailleurs, le Ministère dissimule mal ses intentions en affirmant : “La réversibilité est de fait assurée pendant les délais de construction de ce centre (opérationnel en 2010-2015) et le temps de refroidissement des déchets (plusieurs années) entreposés en surface. Au cas où une avancée technique déterminante autoriserait, demain ou dans une cinquantaine d'années, l'amélioration du traitement des déchets, la possibilité reste entière d'ici là de reprendre les colis pour les traiter à nouveau”. Autrement dit, la notion de réversibilité disparaît totalement au bout de cinquante ans, si tant est qu'elle ait existé auparavant.

La sécurité ou l'irréversibilité

Selon M. Régent, la réversibilité n'est envisageable que pendant la période d'exploitation du stockage souterrain. “À partir d'un certain moment, on voudra reboucher les galeries dans lesquelles on a mis des colis. Là, la réversibilité devient un peu plus difficile parce qu'il faudra enlever ce qu'on aura mis pour boucher les galeries. Et puis ce bouchon qu'on met participe aussi à la sécurité. Il y a un moment où, entre réversibilité et sécurité, il faudra choisir. Au tout début de la période d'exploitation du stockage, on est encore dans la phase de réversibilité, et plus on avance, plus c'est la sécurité qu'il faut jouer”. Enfin, et ce sera la dernière citation à ce sujet, gardons en mémoire ce que le directeur de l'Andra lui-même déclarait en janvier 1988 au journal *Géo* : “Si on conservait un accès vers les colis, cela nuirait à la sûreté et à l'étanchéité du site”. (...)

Un argument commercial

La réversibilité apparaît comme un argument commercial, infondé d'un point de vue juridique et scientifique. Si la recherche ne progresse pas de manière fulgurante dans les années à venir, il est évident que le stockage de déchets radioactifs prendra des allures d'enfouissement définitif. Il faut souligner



l'habileté des pouvoirs publics qui, enfouissant dans les failles cérébrales des populations l'espoir d'une reprise des déchets radioactifs, orientent dans leur sens les décisions que les élus locaux seront amenés à prendre. Un important effort de communication est à produire sur ce sujet délicat. »

AEMHM, septembre 1996, *La Meuse face aux déchets radioactifs*

Une trajectoire irréversible ?

Dans ce même ouvrage, Yannick Barthe s'attache aux trois options envisagées pour la gestion des déchets radioactifs (HA et MA-VL) : le stockage géologique irréversible, le stockage géologique réversible, et l'entreposage de longue durée en surface. Son analyse permet en filigrane de retracer la trajectoire de la notion de réversibilité dans notre dossier.

Barthe montre que le stockage profond irréversible s'est, dans un premier temps, imposé comme la solution de référence conçue par l'expertise scientifique, en réponse à un principe de sûreté du stockage. Cette solution se veut définitive, elle permet de régler le problème dès aujourd'hui : la charge de la gestion des déchets n'est pas transmise aux générations futures, la confiance dans la géologie permet d'éluder le problème de la pérennité des sociétés humaines et de leur capacité à gérer et surveiller les déchets. La sphère technoscientifique a ainsi résolu le problème par la définition d'un projet optimal quant à la gestion des déchets HA et MA-VL : le stockage profond irréversible. La dangerosité des déchets à gérer, leur durée de vie, voire les conséquences sur les générations futures, sont autant d'arguments en faveur de ce mode de gestion. Jean-Claude Petit, qui a réalisé une thèse sur le sujet en 1993¹⁷, soutient ainsi que l'irréversibilité du stockage est une construction technoscientifique :

« La notion d'irréversibilité est une construction patiente et soigneuse du monde technique. On souhaite rendre le stockage en profondeur irréversible, car on pense que cela en renforce la sûreté. »

Jean-Claude Petit, CEA (entretien téléphonique)

Cette solution, construite sur des critères strictement scientifiques, doit faire face à partir de 1987 à l'opposition des populations locales au moment de la recherche d'un site pour l'implantation d'un laboratoire, et ne parvient pas à s'imposer. Pour faire face à cette opposition, la loi de 1991 produit un renversement de la temporalité du processus décisionnel : les critères politiques vont désormais précéder les critères scientifiques et géologiques¹⁸. Cette inversion a conduit peu à peu à concevoir un

principe de réversibilité qui s'est imposé officiellement lors de la décision interministérielle du 2 décembre 1998. Le mode de gestion des déchets radioactifs sera réversible de façon à maintenir ouvert l'espace des possibles. Le fait de ne pas prendre de décision tranchée immédiatement a pour finalité première d'améliorer l'acceptabilité des décisions qui devront être prises. Nous avons vu comment cela a conduit l'Andra à mettre au point un concept de stockage profond réversible.

Le stockage géologique irréversible permettait de ne pas transmettre aux générations futures un héritage (en l'occurrence une charge) dont ils ne sont pas responsables : avec ce concept, les générations actuelles réglaient elles-mêmes un problème qu'elles ont créé ; mais elles privaient ces mêmes générations d'une liberté de choix concernant une option future éventuellement meilleure. Avec le stockage géologique réversible, les générations futures retrouvent cette liberté de choix, du moins le temps de la durée – limitée – de la réversibilité, en même temps que la charge de continuer à gérer les déchets. Yannick Barthe remarque à juste titre que cette liberté de choix n'est pas héritée par l'ensemble des générations futures, la réversibilité devant avoir un terme au bout de quelques siècles. Mais le principe de réversibilité a aussi une conséquence paradoxale sur la liberté de choix des générations successives, rarement évoquée : il exclut la possibilité de choisir un stockage géologique irréversible pour les générations actuelles. Autrement dit, l'élargissement de l'ensemble des états du monde possibles suppose une réduction des états du monde possibles immédiats.

Si au plan politique la réversibilité semble devenue une condition première pour les ingénieurs en charge de la gestion des déchets, elle constitue une contrainte vis-à-vis du principe de sûreté, non négociable. Le stockage réversible imaginé par l'Andra est ainsi un mode de gestion qui autorise la reprise des colis de déchets pendant la période réversible, et qui devient irréversible lorsque le stockage profond retrouve sa vocation première de solution définitive au problème des déchets radioactifs. L'Andra met donc une réversibilité à durée limitée, par étapes, qui conduit progressivement à la fermeture de l'installation ; à chaque étape, la décision est prise de poursuivre le cheminement, de se maintenir en l'état ou de revenir à l'étape précédente.

Le principe de réversibilité étant devenu un impératif, il a été imaginé, à la demande du Gouvernement en 1998, la possibilité d'un stockage en subsurface. Ce mode de gestion devait faciliter la reprise des colis de déchets, tout en protégeant l'installation de stockage d'une intrusion humaine. Cette option a été étudiée par le CEA, qui l'a redéfinie en entreposage en subsurface de longue durée. Voici comment un ingénieur du CEA décrit la demande politique quant à l'entreposage en subsurface :

« En 1998 cette pression s'est concrétisée par la commande d'un rapport sur l'entreposage de subsurface. Je mettrais le t_0 de la réversibilité à ce courrier. En effet, il traduisait une pression politique importante des Verts (Voynet,

¹⁷ Jean-Claude Petit, *Le Stockage des déchets radioactifs : perspective historique et analyse sociotechnique*, ENSMP, 1993.

¹⁸ Voir Yannick Barthe, *Le pouvoir d'indécision. La mise en politique des déchets nucléaires*, Paris, Economica, coll. Études politiques, 2006. Dans son ouvrage, Yannick Barthe parle de « prise d'indécision » à propos de la loi de 1991.



Rivasi) à cette période. On voit le parti des Verts demander fortement l'établissement d'un stockage en surface, concept qui met bien sûr la réversibilité au cœur du concept. La demande d'un rapport sur la subsurface me semble être la réponse très tactique à cette demande politique avec le glissement sémantique suivant :

- (i) on part du stockage de surface,
- (ii) on se convainc qu'il faut *a minima* être en subsurface (concept qui ouvre l'ambiguïté sur la profondeur),
- (iii) pour protéger le stockage classique (loi de 1991), on passe du stockage de subsurface à l'entreposage de subsurface,
- (iv) on lance un effort très important au CEA sur l'entreposage de subsurface de 1998 à 2000 (il était important de protéger le concept classique de stockage en travaillant les aspects techniques qui conduisaient à « orthogonaliser » les concepts, cette différenciation étant techniquement valide),
- (v) à partir de 2001, on refusionne tous les concepts d'entreposage pour *in fine* conclure que les entreposages industriels existants sont suffisants. Ce parcours a re-légitimé la loi de 1991 en traitant techniquement puis en dissolvant le concept intermédiaire de la subsurface (stockage réversible ou entreposage). »

Le glissement sémantique décrit ci-dessus a ainsi pour principal effet de signifier que l'entreposage en subsurface ne peut en aucun cas constituer une solution définitive, l'entreposage étant par définition provisoire : autrement dit, l'entreposage ne se contente pas d'autoriser la reprise des déchets, il y contraint. Le paradoxe dans le cas de l'entreposage en subsurface est que le mode de gestion oblige à la reprise des déchets (le confinement technologique se dégradera avant que les déchets ne deviennent inoffensifs, et l'enfouissement est trop peu profond pour que la barrière géologique empêche la remontée des radionucléides à la surface), en même temps qu'il la complique (les déchets sont enfouis sous 40 à 60 mètres de roche). L'étude de cette option, censée pouvoir constituer une alternative à l'enfouissement en profondeur, a donc pour effet de consolider ce dernier comme solution de référence.

La troisième option analysée par Yannick Barthe est l'entreposage de longue durée, en surface. Cette option a semblé recueillir l'assentiment de la majorité des participants au débat public de fin 2005-début 2006 organisé par la CNDP, au point que certains parlent de consensus autour de cette solution. Cependant, la loi de juin 2006 qui lui a succédé a, quant à elle, confirmé que le stockage profond réversible reste la solution de référence. L'entreposage de longue durée, de même que celui en subsurface, contraint à la reprise des déchets, mais sans la compliquer cette fois-ci, les colis

restant à portée de main. Pour les promoteurs de cette option, il y a là une réversibilité de fait qui répond parfaitement au principe de sûreté : si les colis sont repris et reconditionnés avant que leur confinement technologique ne soit trop dégradé, alors le confinement obtenu est pérenne, plus sûr qu'une barrière géologique incertaine à très long terme, malgré les études faites en laboratoire. À chaque moment de reprise des colis, il peut être décidé de reconditionner les déchets pour prolonger leur entreposage, les retraiter ou les transmuter si une nouvelle technologie a été mise au point, ou encore les enfouir. Barthe parle alors de modèle de décision itératif, le problème étant constamment maintenu ouvert et devant être réévalué périodiquement. Ce procédé permet de laisser une liberté de choix entière aux générations successives (à condition toutefois que la génération précédente ait décidé de prolonger l'entreposage) ; en revanche, elle contraint les générations futures à gérer des déchets qu'elles n'ont pas contribué à créer, et suppose d'entretenir des compétences nucléaires à long terme. Yannick Barthe fait alors remarquer que cette option, privilégiée par les acteurs anti-nucléaires, semble donc peu compatible avec une sortie rapide du nucléaire !

Le paradoxe n'est certainement qu'apparent. Cette option, du moins pour les anti-nucléaires, ne vise pas à apporter une réponse au problème des déchets, mais au contraire à rendre visible un problème que l'on ne sait pas résoudre. L'entreposage de longue durée, en surface, aurait ainsi pour finalité une publicisation continue du problème avec pour effet attendu de convaincre les sceptiques de la nécessité d'une sortie du nucléaire. Autrement dit, si cette option devait être étudiée sérieusement par les autorités et les ingénieurs en charge de la gestion des déchets, il y a tout lieu de penser que ses promoteurs actuels en deviendraient les premiers opposants, selon un débat « à fronts renversés », pour reprendre l'expression de Yannick Barthe. Cette analyse est d'ailleurs partagée par les autorités, le président de l'OPECST considérant par exemple que le consensus est parfaitement illusoire, l'entreposage de longue durée n'étant convoqué par les opposants que dans l'unique but de disqualifier le stockage en profondeur :

« – Mercadal est venu me dire : “il y a un consensus qui se dégage.” Je lui ai dit : “ceux qui proposent votre solution de consensus, si je leur propose, est-ce qu'ils ont signé en bas de la feuille qu'ils ne feraient pas de manifestation, qu'ils ne chercheraient pas à s'y opposer ? Non. Donc ce n'est pas une solution de consensus.” La solution de consensus c'est celle que l'on peut mettre en œuvre. Donc ils proposaient une solution pour ne pas décider. Cette décision supposait un certain nombre d'adaptations auxquelles ils allaient s'opposer : ce n'était pas une solution de consensus (...) c'est un raisonnement qui est précisément fait pour empêcher d'appliquer. À partir de là, ce n'est plus une solution. »

Entretien avec Claude Birraux, président de l'OPECST.

Dans la description ci-dessus, nous observons un déplacement du « pouvoir d'in-décision » décrit par Yannick Barthe dans sa thèse, des autorités politiques vers les opposants à l'enfouissement. La loi de 1991 a permis au politique de retrouver une



emprise sur la gestion du dossier, précisément parce qu'il ne décidait apparemment rien en termes de gestion, mais au contraire rouvrait le dossier en prônant d'engager des recherches sur trois axes. Cette fois-ci, ce sont les opposants qui font une proposition qui ne vise pas à trouver une solution au problème, mais à retrouver des prises sur le dossier en poussant les acteurs à ne rien décider de définitif.

L'étude de la trajectoire de la réversibilité montre que les controverses autour de cette notion engagent l'articulation entre des objectifs politiques et des objectifs technoscientifiques : la réversibilité, en rendant le processus de décision plus flexible, doit favoriser son acceptation ; sur un plan technique, elle contraint les ingénieurs à amender une solution jugée optimale du point de vue de sa sûreté. La notion de réversibilité a donc peu à peu été construite en regard du stockage géologique profond, qu'elle a en retour fortement contribué à faire évoluer. Cette controverse s'inscrit cependant dans un contexte plus large, qui est celui du conflit autour du projet d'enfouissement. Le principe de réversibilité a pu ainsi être promu par des opposants des acteurs antinucléaires tant qu'il paraissait affaiblir le projet ; mais dès lors que le principe est approprié par les promoteurs du stockage profond et incorporé au projet, il n'est plus acceptable. Autrement dit, comme le souligne un ingénieur du CEA dans l'entretien qu'il nous a accordé, le problème de la gestion des déchets HA et MA-VL a depuis longtemps été réglé sur un plan technique avec le stockage en profondeur, mais cela ne suffit pas à valider le projet.

« Il peut y avoir un phénomène de rebond dans les arguments.

Dans les controverses sociotechniques, on est bloqué par l'acceptation. La sphère technique est comme un train lancé sur ses rails, qui ne dévie pas de sa trajectoire, alors que l'acceptation est un mur que l'on parvient à passer ou que l'on ne passe pas.

En fait, d'un point de vue technique, le débat est très simple, tout a été dit. La technique pousse toujours dans le même sens, elle est bête et têtue. Mais comme il n'y pas d'acceptation de la solution technique, on prévoit des temps d'arrêt, des pauses. »

Entretien avec un ingénieur du CEA

Jean-Luc Godard ouvre ses *Histoire(s) du cinéma* par une citation de Robert Bresson : « Ne change rien, pour que tout soit différent »¹⁹. Dans le cas de la gestion des déchets radioactifs, l'étude de la trajectoire de la notion de réversibilité conduirait presque à inverser la formule : « Change tout, pour que tout reste identique » pour rappeler la fameuse injonction de Tancredi Falconeri dans *Le Guépard* : « pour que tout reste comme avant, il faut que tout change »²⁰. En effet, si la loi Bataille a permis de rouvrir le dossier en proposant de développer des recherches, faisant place ainsi à l'étude d'autres options, il apparaît au final que l'introduction de la notion de réversibilité a

eu pour effet de consolider l'option de stockage profond, sans en modifier fondamentalement son principe : faire confiance à terme aux couches géologiques pour faire barrage aux remontées éventuelles de radionucléides. La confiance accordée à la société n'a ainsi qu'une durée limitée. Pour les opposants, dont les « idées ne sont pas réversibles », le principe de réversibilité devient alors, à leurs yeux, l'instrument d'une mystification pour obtenir l'accord des acteurs locaux, puisqu'il permet de valider une option qu'ils rejettent. Au final, le dossier de la gestion des déchets HA et MA-VL reste structuré par un conflit autour d'un projet d'aménagement, le stockage en couches géologiques profondes : les arguments, notions, concepts, voire options alternatives sont introduits pour consolider ou affaiblir ce projet, le principe de réversibilité étant l'un de ces arguments.

Conclusion

La question de la réversibilité donne lieu à des mobilisations liées à des moments forts du dossier des déchets radioactifs (1998, 2005-2006). De période en période, l'Andra rend public un dispositif discursif qui, soumis à des contraintes légales, prend au sérieux la notion de réversibilité qu'elle fait évoluer vers un concept hybride, contenant à une extrémité les techniques de récupérabilité et à l'autre la prise en charge d'une demande sociale, entendue comme l'ouverture des choix et décisions futurs – certains acteurs parlent alors de réversibilité au « sens démocratique ». Mais la plupart des acteurs du dossier considèrent que les études et recherches convergent vers un projet de centre de stockage profond, irréversible de fait – même si l'idée que le laboratoire de Bure lui-même soit le centre de stockage n'a plus cours. La mise en avant de la réversibilité est ainsi interprétée comme l'un des moyens de la construction de l'acceptation sociale du projet. Du coup la critique tente de prendre au mot les pouvoirs publics en exigeant une véritable réversibilité fondée sur l'option de l'entreposage en surface ou subsurface. La durée est clairement vue comme la contrainte majeure : la réversibilité sur cent ans²¹ est ainsi considérée, d'un point de vue critique, comme une fausse réversibilité. Or la référence obligée aux générations futures contraint à aller beaucoup plus loin que le siècle, échéance qui correspond d'ailleurs à peu près à la fin de l'insertion des colis et de la période d'exploitation du site.

Pour la critique antinucléaire, la gestion des déchets est certes un problème pour lequel il faut impérativement trouver une solution et dont il faut bien se préoccuper dans des programmes de recherches, mais il y a un préalable non négociable : arrêter d'en produire. Ainsi, dans la hiérarchie des contraintes argumentatives, la sortie du nucléaire doit précéder la gestion de ses déchets. Une des tensions rhétoriques est ici qu'il ne faut pas chercher de solution avant de sortir, car la solution aurait pour effet de légitimer le cycle du nucléaire et la poursuite de son développement. En attendant de choisir une autre option de gestion des déchets, le réseau Sortir du nucléaire pro-

²¹ L'Andra a étudié les possibilités de reprise des colis sur une durée de cent à trois cents ans correspondant à la phase de remplissage de l'éventuel centre de stockage et au-delà. La référence la plus courante dans le dossier, actée dans la loi de 2006, est une durée d'au moins cent ans pour cette période. Si le jeu sur la durée de cette première phase peut avoir sa pertinence et des conséquences techniques au plan de la gestion du site, il est sans objet du point de vue de la critique antinucléaire ; en effet, pour les acteurs opposés au stockage profond, la réversibilité doit être effective sur toute la durée de vie des déchets stockés, soit bien au-delà de trois cents ans pour des déchets à vie longue.

¹⁹ La citation exacte de Robert Bresson est en réalité « Sans rien changer, que tout soit différent », dans *Notes sur le cinématographe*.

²⁰ *Le Guépard (Il Gattopardo)*, roman de Giuseppe Tomasi paru en 1958 à titre posthume.



pose ainsi de prolonger la situation actuelle, autour d'un argument récurrent : l'entreposage existe déjà ; qu'est-ce qui empêche de continuer ? Les déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) de l'industrie électro-nucléaire française et des activités du Commissariat à l'énergie atomique sont en effet entreposés sur les sites où ces déchets ont été produits ou regroupés. C'est « la moins mauvaise » des solutions, selon eux, car elle a deux avantages :

- elle permet de ne pas implanter d'installations nucléaires sur de nouveaux sites ;
- elle évite les transports de déchets radioactifs, jugés trop dangereux.

Dès qu'on s'éloigne du cœur du dossier, c'est-à-dire des jeux d'acteurs qui portent les projets, leurs critiques et leur mise en discussion publique (les pro-, les anti-, le Clis, les sociologues...), une forme de déréalisation des échelles de temps, assez facile à comprendre est observée. Comment peut-on intéresser les nouvelles générations, marquées par une forme de « présentisme » et un horizon temporel très court – celui de la connexion instantanée –, à des projets qui non seulement réveillent des fantômes du passé (les déchets comme « cauchemar du nucléaire »), mais qui engagent un futur indéterminé du point de vue phénoménologique, variant entre une centaine et un million d'années, soit des échelles de temps non superposables aux échelles ordinaires de l'action et du jugement²² ? Par ailleurs, les déchets comme objets inertes et non malléables heurtent une conception ergonomique partagée de la réversibilité comme interactivité avec les objets techniques.

Mais le problème est, nous le savons, plus fondamental : qui est autorisé à parler au nom des générations futures²³ ? Tantôt nous leur attribuons une liberté ; tantôt nous les protégeons des conséquences des choix actuels en projetant de les débarrasser d'une décision à prendre. Certes, les générations nées entre 1960 et 1990 sont réputées moins politisées que les précédentes et les mobilisations se révèlent fragmentaires et fugaces. Mais la mise en présence d'objets qui ne laissent aucune prise et qui sont incompatibles avec une appropriation technique – comme celle rendue possible par les nouvelles technologies – contribue à assurer aux opposants une capacité de conviction pour les années futures²⁴. De fait, le mouvement antinucléaire peut très bien tourner à partir d'une poignée d'« activistes » et marquer des points sur le plan des représentations collectives – il suffit d'examiner l'effet Pièces et main d'œuvre (PMO) sur le dossier des nanotechnologies ou encore la manière dont les anti-OGM ont réussi à enrôler bien au-delà de leurs propres réseaux avec le mouvement des « faucheurs volontaires »²⁵.

Comme pour les prises « individuelles » sur les technologies, les « prises collectives » sur les processus de décision font défaut aux acteurs et suscitent tantôt la démobilisation ou le retrait (*exit*), tantôt la défiance et la dénonciation (*voice*). La démocratie participative est aujourd'hui une contrainte forte. Sur les déchets nucléaires, on est dans la gestion des résidus d'un processus qui s'est construit de manière exclusivement technocratique. Le sentiment domine que les débats arrivent beaucoup trop tard, conforté par la manière dont les conclusions du débat CNDP sur les déchets ont été contredites en pratique par la loi de 2006. Depuis ce débat, les formes de concertation, notamment au Clis, semblent affectées d'une forme de démobilisation dont témoigne par une figure rhétorique surprenante l'intitulé de la dernière lettre du Clis : *Le Clis reste actif*. Ce mouvement est conforté par la présence d'acteurs critiques qui n'hésitent pas à dénoncer les débats institutionnels comme des dispositifs antidémocratiques interdisant le déroulement du « vrai débat ». On retrouve cette dimension dans l'extrait ci-dessous d'un communiqué de PMO :

« La CNDP fait partie des outils d'acceptabilité des nouvelles technologies à la disposition des décideurs, pour vaincre la méfiance de citoyens-consommateurs échaudés par trop de scandales techno-industriels : amiante, vache folle, OGM. Ses débats publics répondent parfaitement aux préconisations des inventeurs de la *démocratie technique*. Des sociologues jaunes, spécialisés dans l'acceptabilité de l'innovation, qui proposent aux décideurs des dispositifs pour gérer les *controverses*. (...) Connaissez-vous le credo de ces pros de la manipulation ? “Faire participer, c'est faire accepter.” »

Le refus, de plus en plus fréquent, des opposants d'entrer dans les arènes de concertation pour participer au débat a pour effet de scinder le dossier en deux scènes distinctes :

- une scène restreinte aux acteurs en charge de la gestion du dossier (instances d'évaluation, Andra, rapporteurs officiels, instances de concertation comme le Clis de Bure et l'Ancli). Les arguments sont ici structurés par une finalité normative dont l'horizon est défini par la promulgation d'une loi sur les conditions de la réversibilité ;
- une scène plus large et plus médiatisée, où la place des opposants et des acteurs antinucléaires est beaucoup plus prégnante. Les énoncés sont alors en grande partie organisés par les charges critiques dénonçant une opération de communication remplissant une fonction d'« acceptabilité sociale ».

²² Sur les échelles de temps et leur rapport au temps de l'action et du projet, voir R. Duval, *Temps et Vigilance*, Paris, Vrin, 1990.

²³ Voir H. Jonas, *Le principe responsabilité*, Paris, Cerf, 1992, et la discussion qu'en propose Jean-Pierre Dupuy dans *Le catastrophisme éclairé*, Paris, Seuil, 2002.

²⁴ Voir F. Chateauraynaud, *Argumenter dans un champ de forces. Essai de balistique sociologique*, ouvrage à paraître en 2010.

²⁵ Voir F. Chateauraynaud, M.-A. Hermitte, A. de Raymond, G. Tetart, *Formes de mobilisation et épreuves juridiques autour des OGM en France et Europe*, Rapport ANR OBSOGM, 2010.



L'Andra a pu ainsi largement faire évoluer le concept de stockage dans ses modalités opérationnelles, avec une réversibilité conçue comme la possibilité d'un pilotage progressif et évolutif du processus de stockage, laissant aux générations à venir une liberté de décision sur ce processus. Cependant, ces réflexions percolent très peu dans l'espace médiatique, largement occupé par les opposants et les acteurs prônant une sortie du nucléaire. Il en résulte que les arguments développés dans l'espace public sont principalement structurés par les polémiques et le conflit autour du projet de stockage profond, plutôt que par les controverses autour de la définition du concept de réversibilité.

Pour que les arguments portés par les auteurs-acteurs du corpus puissent faire l'objet d'une description juste, il semble nécessaire de ne pas réduire l'analyse du dossier à sa dimension controversée sur la définition des conditions de la réversibilité, mais de régulièrement élargir la focale au conflit sur le projet de stockage. La structuration de l'espace médiatique par la critique explique alors pour une bonne part la stabilité des arguments observée tout au long de la trajectoire du dossier.

