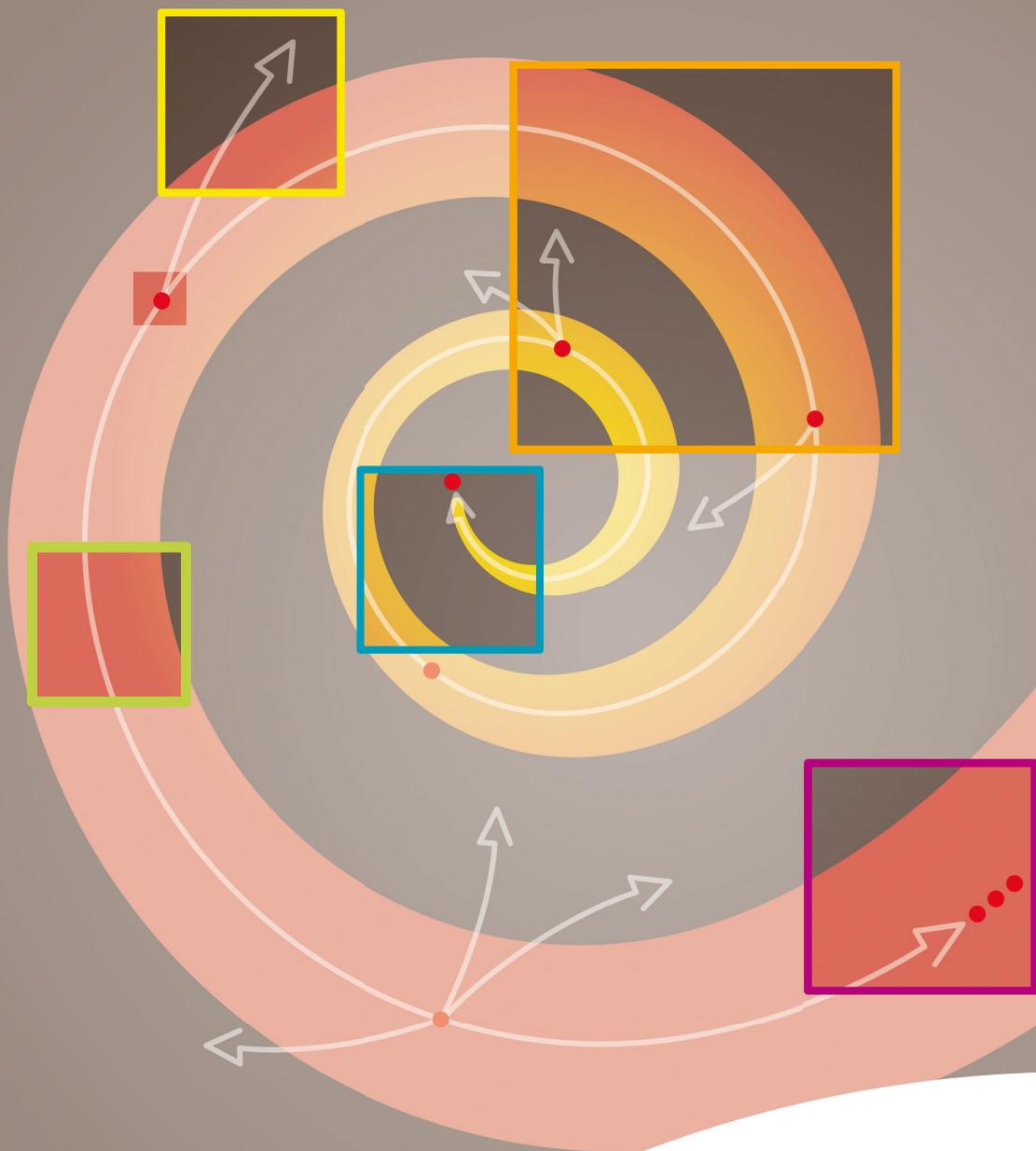


Réversibilité et sciences sociales

Actes de la Journée d'études du 2 octobre 2008



PRÉFACE 3

Luis Aparicio, Patrick Landais (Andra)

PREMIÈRE PARTIE

L'appropriation de la notion de réversibilité par l'Andra au fil du temps 9

Jean-Michel Hoorelbeke (Andra)

Discussion 17

Yannick Barthe (CSI – Mines ParisTech)

La définition du stockage réversible 21

Jean-Noël Dumont (Andra)

Discussion 27

Manuel Zacklad (CNAM / Tech-CICO – U.T. de Troyes)

Discussion générale 31

DEUXIÈME PARTIE

Gestion par étapes et processus décisionnel 43

Thibaud Labalette (Andra)

Discussion 51

Loïc Blondiaux (Université Paris I Panthéon-Sorbonne)

La réversibilité du point de vue économique 55

Louis Londe, Rodolphe Caffard (Andra)

Discussion 63

Sandrine Spaeter-Loehrer (BETA – Nancy-Université)

Discussion générale 67

TROISIÈME PARTIE

Réversibilité et sûreté du stockage 79

Sylvie Voinis (Andra)

Discussion 87

Soraya Boudia (Université de Strasbourg)

Montrer et démontrer la réversibilité	91
<i>Patrick Landais (Andra)</i>	

Discussion	97
<i>Madeleine Akrich (CSI - Mines ParisTech)</i>	

Discussion générale	101
---------------------------	-----

QUATRIÈME PARTIE

L'observation-surveillance du stockage	109
<i>Stefan Mayer (Andra)</i>	

Discussion	115
<i>Michel Setbon (CNRS)</i>	

Implications de la mise en œuvre de la notion de réversibilité	119
<i>Bruno Cahen (Andra)</i>	

Discussion	127
<i>Francis Chateauraynaud (EHESS)</i>	

Discussion générale	133
---------------------------	-----

CLÔTURE	141
<i>Marie-Claude Dupuis, directrice générale de l'Andra</i>	

La journée d'études sur la réversibilité, objet de cette publication, était la première d'une série de rencontres scientifiques destinées à développer le dialogue entre les chercheurs en sciences humaines et sociales et les ingénieurs et scientifiques de l'Andra. Elle a eu lieu le 2 octobre 2008 au siège de l'Andra et a rassemblé une trentaine de participants. La journée a été structurée sur la base de huit présentations orales réalisées par des représentants de l'Andra, des réactions d'un discutant externe, et de quatre temps intermédiaires de discussion générale.

On peut s'interroger sur les raisons qui animent l'Andra, expert technique, à s'intéresser aux sciences humaines et sociales en relation avec la thématique de la réversibilité. Ces raisons renvoient au travail de médiation entre le technique, le politique et le social qui a été assigné à l'Agence par la loi de programme relative à la gestion des matières et déchets radioactifs du 28 juin 2006.

En effet, cette loi prévoit la poursuite des études et des recherches concernant le stockage réversible en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et de moyenne activité à vie longue en vue d'un projet d'implantation industrielle. Plus particulièrement, elle charge l'Andra de proposer un site et de concevoir un centre de stockage de sorte que la demande d'autorisation de création puisse être instruite en 2015 et le centre mis en exploitation en 2025. La loi précise également qu'un débat public devra précéder le dépôt de la demande et que l'autorisation ne pourra être délivrée qu'après la promulgation d'une nouvelle loi fixant les conditions de réversibilité du stockage.

L'appel aux sciences humaines et sociales, et donc la réalisation de cette journée d'études sur la réversibilité, était l'occasion pour l'Andra de soumettre à discussion ses travaux et d'initier une démarche réflexive commune. Elle ne cherchait pas à anticiper l'épreuve de la réalité sociale mais, au contraire, à intéresser les membres de cette communauté au sujet et à fédérer des initiatives. Ainsi, de nouvelles études ont été lancées et de nouveaux dispositifs se mettent progressivement en œuvre qui permettront de mieux structurer les recherches futures. Par ailleurs, la série de rencontres scientifiques évoquée précédemment se poursuit avec l'organisation à Nancy, du 17 au 19 juin 2009, d'un colloque interdisciplinaire sur la réversibilité. Ce colloque traitera la problématique de la réversibilité à la lumière des réflexions qui ont lieu actuellement dans d'autres domaines et sur d'autres expériences industrielles et préfigure, par ailleurs, la conférence internationale qui sera organisée en France sous l'égide de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE sur la même thématique en décembre 2010.

Les liens établis entre la communauté des sciences humaines et sociales et l'Andra, suite au travail séminal initié au cours de cette journée d'études, pourront aussi se développer et donner des fruits lors de nouvelles recherches, autour d'autres questionnements partagés, notamment celui de longues échelles de temps, et plus particulièrement, sur le sujet de la mémoire intergénérationnelle.

En ce qui concerne le contenu de la journée d'études objet de cette publication, il ne nous est pas possible de résumer en peu de lignes l'objet de chaque intervention ni les discussions qui les ont suivies. Il est néanmoins utile d'attirer l'attention du lecteur sur quelques points essentiels.

- Le premier point concerne le langage et les moyens d'expression utilisés par l'Agence. Il est apparu aux participants de la communauté des sciences humaines et sociales qu'il était nécessaire de clarifier la terminologie et d'approfondir son argumentation. La notion de réversibilité est fortement polysémique et ne se limite pas à la possibilité de récupérer les colis du stockage. Au contraire, les aspects liés au processus décisionnel ont été mis en avant, notamment la possibilité de revenir sur les décisions et d'élargir l'éventail des choix que cette notion confère. S'il y a un dénominateur en commun derrière la demande de réversibilité, c'est le refus des décisions irréversibles.
- Cependant, une tendance persiste à présenter la réversibilité de manière paradoxale, comme un chemin inéluctable qui mène vers l'irréversibilité. À ce sujet, l'Andra pourrait avoir intérêt à ce que l'échelle de réversibilité se distingue plus clairement d'une échelle de stricte récupérabilité, à ce que les « coûts » de la réversibilité soient mis en regard des bénéfices, et les incertitudes en regard de l'acquisition de connaissances que la réversibilité favorise. Il est apparu au fil des discussions qu'un travail de cadrage est à développer, dont la réalisation progressive est liée au débat public, pour préparer la diversité des options et des scénarios possibles liés à l'implantation du stockage.
- En matière de sûreté, l'opposition en termes de stabilité relative entre la géologie et la société a été largement discutée. Elle n'est pas apparue si évidente. D'ailleurs, les paradigmes et les cadres utilisés dans ce domaine gagneraient à être mieux explicités car, comme le mentionnait un des intervenants, « la société n'est pas sûre que les ingénieurs soient si sûrs sur la sûreté ». Les certitudes avancées sur le comportement du stockage à long terme contrastent trop souvent avec les incertitudes attribuées à la période d'exploitation, en particulier en lien avec les exigences de la réversibilité.
- Enfin, d'après certains participants, des irréversibilités « cognitives » persisteraient, et pourraient aller à l'encontre de la réversibilité technique. Il est apparu nécessaire d'assurer des conditions de production de connaissances qui ne soient pas un facteur limitant pour la réversibilité future et, en ce sens, la démarche de gestion par étapes définie par l'Andra a été fort appréciée. Elle introduit des points de décision et de réévaluations régulières qui permettent de construire une décision par récurrence, par itérations successives, durant la période séculaire d'exploitation.

La présente publication reprend la structure de la journée d'études avec, pour chacune des quatre parties, les textes écrits de deux présentations de l'Andra, et les transcriptions des réactions des discutants et des intervenants lors de la discussion générale¹. Les transcriptions conservent le caractère oral des interventions. Elles n'ont été corrigées que sur la forme, et par les personnes concernées, dans le but de faciliter la lecture.

La première partie du livre examine l'appropriation de la notion de réversibilité par l'Andra au fil du temps et la définition du stockage réversible en cours d'élaboration à l'Agence. Dans la deuxième, l'accent est mis sur le processus décisionnel associé à la réversibilité et l'approche économique. La question de la sûreté et de la démonstration scientifique en relation avec la réversibilité fait l'objet de la troisième partie. La quatrième et dernière traite de la surveillance du stockage et la mise en œuvre concrète de la notion de réversibilité. L'intervention de clôture de Marie-Claude Dupuis, directrice générale de l'Andra, est également transcrite en conclusion à cette publication.

Luis APARICIO et Patrick LANDAIS,
Direction scientifique de l'Andra

1 Les participants, invités à intervenir lors des discussions générales, étaient aussi les suivants : Anne Bergmans (Université d'Anvers), Michel Callon (CSI-Mines ParisTech), Pierre Benoit Joly (INRA/IFRIS) et Saida Laârouchi-Engström (SKB), tous les quatre membres du comité d'expertise et de suivi de la démarche d'information et de communication de l'Andra, ainsi que Jean-Pierre Alix (CNRS), Patrice Duran (ENS), Jacques Mery (Cemagref) et Agnès Weill (Université de Metz).

Première partie



L'appropriation de la notion de réversibilité par l'Andra au fil du temps

Jean-Michel HOORELBEKE

Andra, adjoint au directeur des projets

La réversibilité se situe à l'interface entre les domaines de la décision politique et de la conception technique de la gestion à long terme des déchets radioactifs. Aussi la réversibilité ne peut se construire que sur la base d'échanges entre les acteurs des deux domaines. Ce travail itératif de construction n'en est aujourd'hui qu'à un stade intermédiaire. La présentation retrace la première période de construction de la réversibilité du stockage, de 1991 à 2006, telle que l'a vécue l'opérateur technique qu'est l'Andra (première partie). Elle étend ensuite la réflexion à l'entreposage, outil complémentaire de gestion des déchets (deuxième partie). En effet, le législateur a souhaité en 2006 que l'Andra s'intéresse aussi à ce sujet, tout en décidant que le stockage réversible constitue l'option de référence pour la gestion à long terme des déchets. Les perspectives sur la gestion des déchets inscrites dans la loi impliquent aujourd'hui de préciser la méthodologie de poursuite du travail de construction de la réversibilité (troisième partie).

Des possibilités de stockage réversible ou irréversible (1991) vers le choix du stockage réversible (2006).

La loi du 30 décembre 1991 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 le contraire), la notion reste peu précise 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 ?

Pendant la recherche de site de Laboratoire souterrain à partir de 1992, les parties prenantes locales (public et élus) consultées par M. Bataille (rapporteur de la loi de 1991 et médiateur) manifestent leur intérêt pour l'étude du stockage réversible. En 1997, l'Andra relève par elle-même cet intérêt durant les enquêtes publiques en vue de la création du Laboratoire. La réversibilité devient alors progressivement un enjeu majeur.

L'année 1998, au terme de laquelle l'Andra a été autorisée à installer le Laboratoire de Meuse/Haute-Marne, a apporté un nouvel éclairage sur la réversibilité. D'une part, à la demande du Gouvernement, la Commission nationale d'évaluation (CNE) remet en juin 1998 un rapport sur la réversibilité [1], 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 que l'on établit ; (iii) « le stockage géologique dit " irréversible " dans lequel la reprise des colis, possible même après fermeture du site, serait cependant très lourde ».

D'autre part, l'Andra organise un atelier international sur la réversibilité [2] en novembre 1998. Elle y expose son approche technique nouvelle de la réversibilité, qui est plus large que la seule récupérabilité des colis de déchets :

- gestion du stockage par phases successives, chaque phase donnant lieu à des décisions à prendre;
- niveau de réversibilité décroissant progressivement avec le passage des phases (ces niveaux sont dénommés réversibilité « initiale », « transitoire », « possible ») ;
- 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 pendant combien de temps on peut offrir 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. De 1998 à 2001, l'Andra précise l'approche présentée en 1998. Dans son dossier d'étape remis en 2001 [3], l'Andra introduit le principe d'une méthode d'analyse de la réversibilité (sur le modèle d'une analyse de sûreté), ainsi que l'intérêt d'un « programme d'observation » associé à la gestion réversible du stockage (sans présenter à ce stade de développements techniques et scientifiques).

En 2002, un groupe de travail international sous l'égide de l'Agence de l'énergie nucléaire de l'OCDE, auquel participe l'Andra, introduit clairement la distinction entre « récupérabilité » (*retrievability*) et « réversibilité » (*reversibility*), en lien avec une approche du stockage par étapes successives suivant un processus prudent et souple, qui fait partie des « bonnes pratiques » : 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 ainsi de la

« réversibilité des décisions dans les programmes de stockage définitif¹ des déchets ». Elle a donc un champ d'actions plus large que la récupérabilité qui traduit uniquement « la possibilité d'inverser l'action de mise en place des déchets proprement dite ». 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.

En 2002, l'Andra décide d'analyser les motivations possibles de la demande de réversibilité, afin d'ajuster la réponse technique qu'elle présentera en 2005. Il en ressort les motivations possibles suivantes :

- une recherche d'ouverture dans la prise de décision (préférer des décisions mesurées, laissant les choix ouverts aux générations suivantes, où le décideur ne serait pas figé techniquement ; permettre une négociation entre les attentes sociétales et l'approche technique) ;
- une conduite « prudente » pour l'action en contexte incertain, dû notamment à la longue période de temps ;
- une application du principe de précaution et l'attitude de modestie scientifique qui en découle (prendre acte des incertitudes et des limites des connaissances à un moment donné).

Au plan technique, la liberté de choix offerte aux générations suivantes comprend :

- la possibilité de temporiser le processus de stockage avant de décider des étapes de fermeture du stockage, permettant par exemple de prolonger les observations ;
- la possibilité de faire évoluer la conception des nouvelles tranches de stockage ;
- la possibilité de retirer les colis du stockage pour mettre en œuvre un autre mode de gestion, ou pour récupérer des matières stockées au cas où l'évolution technologique en autoriserait une valorisation alors qu'elles avaient été considérées auparavant comme un déchet.

Cette analyse conforte dans leur principe les éléments déjà introduits en 1998 puis 2001. L'Andra 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.

1 L'AEN reprend la définition du stockage adoptée par l'AIEA : « "Stockage définitif" signifie mise en place de déchets radioactifs dans un dépôt sans intention de les récupérer ... ». Bien que l'on n'en ait pas l'intention, il est possible de retirer les déchets d'un stockage géologique définitif.

Sur cette base, l'Andra développe pour le Dossier 2005 [5] 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 [6] ;
- 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 deux cents à trois cents ans [7] ;
- la conception d'un programme d'observation du stockage, l'analyse des motivations possible 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 », fortement instrumentés [8].

Pendant toute la période 1998-2005, la place à donner à la réversibilité dans les choix de conception a constitué un sujet de débat, entre l'Andra et d'autres parties prenantes (inquiètes notamment du surcoût potentiellement entraîné par la réversibilité, et qu'il a fallu rassurer sur ce point), et même au sein des équipes de l'Andra.

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 ou des domaines d'études injustifiés, comme exprimant un doute contestable vis-à-vis du concept de stockage géologique, voire comme antinomique des autres performances recherchées. L'appropriation de la réversibilité passe par le constat que celle-ci ne résulte pas directement d'un besoin technique ou scientifique (sinon l'attitude de modestie mentionnée plus haut), mais qu'elle est une demande sociale, un choix politique, qui s'impose au scientifique. Charge à ce dernier 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 des autres exigences à satisfaire, notamment en matière de sûreté. La loi de 1991 instituait un cadre nouveau pour la gestion à long terme des déchets, marquant un partage plus net des responsabilités entre le développement de solutions techniques et la décision de les mettre en œuvre ; la réversibilité entre dans cette logique.

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 [8] 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 plus orientés vers la réversibilité que les autres sur des échelles de temps relativement longues. Il relève

cependant des inconvénients, non jugés rédhibitoires, de la référence à une période de deux cents à trois cents ans. La CNE [10] indique la nécessité d'accroître la crédibilité de la notion de réversibilité. L'Autorité de sûreté nucléaire ne considère pas que la possibilité de reprendre aisément les colis de déchets soit acquise sur 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.

Sur la base des évaluations scientifiques du Dossier 2005 et du débat public² sur la gestion des déchets (2005/2006, [11]), il ne semble pas que les propositions que l'Andra a formulées dans le Dossier 2005 soient remises en cause dans leur principe (des évaluateurs ont cependant considéré que la réversibilité n'était pas démontrée au-delà de cent ans, sur la base de l'état de l'art, conduisant en 2006 le législateur à la prudence sur la durée minimale requise). Il apparaît néanmoins un fort besoin d'explicitation, la notion de réversibilité et le dossier semblant en l'état difficiles d'accès.

La loi de programme n°2006-739 du 28 juin 2006 [12] impose de concevoir le stockage géologique profond dans le respect du principe de réversibilité. Néanmoins les conditions de la réversibilité ne seront fixées que par une nouvelle loi, postérieure au dépôt par l'Andra (fin 2014) d'un dossier de demande de création du centre de stockage géologique profond. Cela traduit la demande du législateur aux scientifiques de lui faire des propositions concrètes, pour lui permettre ensuite de statuer sur les conditions de la réversibilité. Dans les années à venir, l'Andra devra donc mieux expliciter la réversibilité, approfondir la recherche de concepts techniques, et promouvoir un dialogue avec l'ensemble des parties prenantes pour ajuster ses propositions. Pour cela, elle a jalonné la démarche dans le plan de développement du projet, en proposant de remettre en 2009 des « options de réversibilité » qui constitueront une nouvelle base de dialogue. Cette proposition a été reprise par le Gouvernement dans le Plan national de gestion des déchets radioactifs (PNGMDR).

L'Andra joue aujourd'hui un rôle moteur dans les échanges internationaux sur le thème de la réversibilité. Elle s'est particulièrement impliquée dans l'organisation de l'initiative « *Reversibility-retrievability* » sous l'égide de l'Agence de l'énergie nucléaire (OCDE-AEN). Il s'agit de dresser un panorama des approches spécifiques de la réversibilité dans les

² *Le bilan du débat public insiste sur la mise en œuvre progressive et contrôlée du stockage : « La mise en œuvre d'un stockage en couche géologique profonde s'accompagnera de conditions qui apporteront de la flexibilité au processus de gestion : l'utilisation d'installations d'entreposage pour recevoir les déchets avant leur gestion dans un centre de stockage, l'obligation d'être réversible, la surveillance du centre de stockage tout au long de son exploitation et durant la période de réversibilité constituent autant de garanties d'une mise en œuvre progressive et contrôlée... ». Sur la réversibilité, le bilan 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 les 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. »*

différents pays, et d'élaborer des définitions et des outils communs qui permettent de comprendre et de comparer ces approches, sans toutefois chercher à les rapprocher car elles correspondent à des choix politiques nationaux. Le colloque international qui clôturera cette action sera organisé en France en 2010.

De l'entreposage de longue durée vers l'entreposage complémentaire au stockage.

La loi du 30 décembre 1991 instituait trois voies de recherche (l'une visant à « détruire » les déchets, la deuxième à les stocker en formation géologique profonde et la dernière à les entreposer sur une longue durée en surface). Progressivement, ces trois voies se sont révélées complémentaires les unes des autres, plutôt que constituant des alternatives. Il a ainsi été demandé au CEA et à l'Andra, en particulier par la CNE, de coopérer afin que le conditionnement des déchets étudié par le CEA pour un entreposage de longue durée (jusqu'à trois cents ans) soit compatible avec un stockage. L'entreposage tel que retenu par la loi de programme de 2006 (et dont les études et la coordination avec le stockage ont été confiées à l'Andra) a clairement un objectif de complémentarité avec le stockage, ce dernier devenant l'option de référence pour la gestion à long terme des déchets. Par exemple, les déchets de haute activité doivent être entreposés pendant au moins soixante ans avant d'être stockés, pour gérer leur dégagement thermique très élevé initialement, mais qui décroît dans le temps. De plus, disposer de capacités d'entreposage contribue à la réversibilité du stockage, en permettant d'y accueillir des colis de déchets qui auraient été récupérés.

Néanmoins la question d'une alternative au stockage que constituerait un entreposage « pérennisé » peut rester posée par les opposants au stockage. Compte tenu des limites à la démonstration d'une installation d'entreposage de longue durée, un entreposage pérennisé consisterait à renouveler périodiquement les installations d'entreposage (typiquement selon une périodicité séculaire), avec à chaque étape un déplacement des déchets de l'ancienne installation vers la nouvelle (pouvant imposer un reconditionnement des déchets).

Les opposants au stockage tendent à justifier cette alternative par la plus grande réversibilité qu'elle semble offrir par rapport au stockage géologique profond, la profondeur étant perçue comme diminuant cette réversibilité. Afin de préparer le futur débat public sur le projet de stockage (prévu en 2013), l'Andra envisage de procéder à une comparaison sur les plans de la réversibilité, de la sûreté et du coût, entre la stratégie entreposage + stockage réversible retenue par la loi en 2006, et l'alternative que constituerait un entreposage pérennisé. 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 de la santé et de l'environnement. Cette passivité permet de s'affranchir des incertitudes sur la capacité de la société à maintenir ou à renouveler une installation industrielle dans la longue durée.

Perspectives

La loi de programme de 2006 impose la réversibilité du stockage géologique profond. Il s'agit donc d'un choix politique. Parallèlement, elle missionne l'Andra pour faire des propositions en la matière, en vue du choix des conditions de réversibilité qu'effectuera le législateur à l'horizon 2015-2016. En tant qu'opérateur technique, l'Andra pourra exprimer les limites techniques de la réversibilité (vieillesse des ouvrages, respect des exigences de sûreté, etc.). Mais il lui faudra confronter ces limites aux attentes en matière de réversibilité. Or cette réversibilité ne résulte pas d'un besoin technique. Aussi, si l'Andra dispose des méthodes de l'ingénieur pour analyser un besoin technique (analyse fonctionnelle, analyse de risques), comment pourra-t-elle capter et comprendre des attentes d'ordre socio-politique ?

Pour ce faire, l'Andra s'engage dans un renforcement de son dialogue avec l'ensemble des parties prenantes (publics), dans le cadre d'une démarche structurée d'information et de consultation, dans des échanges poussés à l'international, et dans l'intégration de sciences humaines et sociales dans son programme scientifique.

Références

1. Commission nationale d'évaluation (1998) : *Réflexions sur la réversibilité des stockages*.
2. Andra (1998) : *International Workshop on Reversibility*, Paris, 25-27 November 1998.
3. Andra (2001) : *Dossier 2001 Argile, Rapport de synthèse, Parties A et B*.
4. AEN (2001) : *Reversibility and Retrievability in Geologic Disposal of Radioactive Waste – Reflections at the International Level*, NEA Report 3140. Disponible sur le site de l'AEN:
<http://www.nea.fr/html/rwm/reports/2001/nea3448.pdf> (Version française)
5. Andra (2005) : *Dossier 2005 Argile Synthèse – Évaluation de la faisabilité du stockage géologique en formation argileuse*. Disponible sur le site de l'Andra :
http://www.andra.fr/publication/produit/D05A_266.pdf
6. Andra (2005) : *Dossier 2005 Argile. Tome Architecture et gestion du stockage géologique*. Disponible sur le site de l'Andra :
http://www.andra.fr/publication/produit/D05A_268_TAG.pdf
7. Andra (2005) : *Analyse des niveaux de réversibilité d'un stockage en formation argileuse profonde – Site de Meuse/Haute-Marne*, C RP AHVL 04.0028.
8. Andra (2005) : *Observation et surveillance d'un stockage en formation argileuse profonde*, C.RP.AHVL.04.0029.
9. 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. Disponible sur le site de l'AEN :
<http://www.nea.fr/html/rwm/reports/2006/nea6179-havl.pdf> (Version française)

10. Commission nationale d'évaluation (janvier 2006) : *Rapport global d'évaluation des recherches conduites dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991.*

11. *Bilan 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. Disponible à l'adresse :

<http://www.debatpublic-dechets-radioactifs.org/documents/bilan-cndp.html>

12. Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. JO n° 149 du 29 juin 2006-12-18.

Disponible sur : www.legifrance.gouv.fr.

Discussion

Yannick BARTHE

CSI - Mines ParisTech

Bonjour à tous. Je voudrais commencer par remercier l'Andra et Luis Aparicio de m'avoir invité à participer à cette journée dont je crois qu'il faut d'emblée souligner l'originalité. Cette journée est en effet doublement originale. Elle l'est d'abord par son thème, celui de la réversibilité. Pour une fois, les sciences sociales ne sont pas convoquées pour traiter des problèmes liés à l'« acceptabilité sociale » des projets techniques, mais sont invitées à se pencher sur un thème transversal aux sciences dites « dures » et aux sciences « souples ». Mais cette journée est également originale par la manière dont elle est organisée : pour une fois, les représentants des sciences sociales ne se voient pas attribuer une petite heure en fin de journée pour discuter des « aspects économiques et sociaux » de questions qualifiées de « techniques ».

Je dois dire par ailleurs que j'ai beaucoup apprécié la contribution de monsieur Hoorelbeke. D'une part, parce qu'elle synthétise de manière admirable l'évolution de cette question au cours des quinze dernières années, mais aussi, d'autre part, parce qu'elle nous permet de mesurer le chemin parcouru sur le sujet par les opérateurs et en l'occurrence par l'Agence de gestion des déchets radioactifs depuis 1991.

Alors, comme mon temps est compté, je me contenterai de formuler trois remarques dans le prolongement de cette contribution sur l'appropriation de la notion de réversibilité par l'Andra au fil du temps.

La première concerne le problème de la terminologie propre au domaine de la gestion des déchets nucléaires. C'est un domaine caractérisé par une prolifération de termes, de concepts, de définitions, de subtilités sémantiques, et l'intervention de monsieur Hoorelbeke permet d'en avoir un bon aperçu. C'est un trait qui m'a toujours frappé et je pense que cette prolifération de définitions peut finir par poser problème. Habituellement, on le sait, les définitions servent à clarifier les choses. Or on a parfois l'impression que, dans le domaine des déchets nucléaires, elles ont plutôt pour effet d'obscurcir les choses. Je ne suis pas sûr, par exemple, que si on interroge des non-spécialistes sur le sujet, la distinction entre récupérabilité et réversibilité soit d'une clarté évidente... J'y reviendrai dans un instant. Quoi qu'il en soit, il me semble que ces questions de terminologie peuvent fournir une première piste de recherche pour les sociologues : au lieu d'utiliser les définitions qui ont cours, il s'agirait de les prendre véritablement comme objets d'analyse, c'est-à-dire essayer de retracer la généalogie de certaines notions, de certains concepts, s'intéresser au travail de définition, de redéfinition, de déplacement dont ces définitions ont fait l'objet au cours du temps.

Ce type de travail devrait s'efforcer de repérer aussi les lieux de catégorisation, les lieux de définition, les acteurs qui sont au cœur de ce type d'activités et qui inventent, au fond, toutes ces notions. D'où vient, par exemple, la notion de stockage « définitif » ? Elle ne vient pas de la loi de 1991. Dans les années soixante, on parle déjà de stockage définitif. Pourquoi certaines notions ont-elles disparu de la circulation alors qu'elles étaient en vogue il y a quelques dizaines d'années, comme celle d'« évacuation » par

exemple ? Pendant longtemps, on ne parlait pas de gestion des déchets nucléaires, on parlait d'« élimination » ou d'évacuation des déchets. Inversement, comment certaines notions se sont-elles imposées ? Comment et pourquoi certaines distinctions ont-elles été élaborées, alors même qu'elles paraissent parfois un peu problématiques, comme celle entre « entreposage » et « stockage »? Vous avez rappelé ce qui distingue ces deux notions, mais, quand on regarde dans un dictionnaire, le stockage correspond plus ou moins à ce que l'on entend par « entreposage » dans le domaine des déchets nucléaires. Voilà en tout cas une piste qu'il me paraît intéressant de creuser.

On peut d'ores et déjà se demander si l'absence de définition claire de certaines notions ne rend pas aujourd'hui difficile la communication avec les publics concernés. Je pense, j'y reviens, à la distinction entre « entreposage » et « stockage », et même à la notion de « stockage définitif ». Parler de stockage définitif, n'est-ce pas un peu tautologique ? Dans la mesure où ce qui différencie le stockage d'un entreposage est précisément le caractère définitif du stockage, pourquoi parler de « stockage définitif » ? De même, on peut légitimement s'interroger sur l'intérêt de qualifier d'« irréversible » un stockage alors qu'on dit par ailleurs que la reprise des déchets est de toute façon toujours possible. Je pense qu'il pourrait être intéressant, mais si c'est un travail délicat, de simplifier un petit peu tout ça, c'est-à-dire à la fois de faire un travail de définition et, en même temps, de simplification et de clarification.

Ma deuxième remarque porte sur le caractère progressif de l'appropriation de cette notion de réversibilité. Une appropriation qui s'est faite, comme l'indique le titre de l'intervention de monsieur Hoorelbeke, « Au fil du temps ». Au fil du temps, pas seulement par l'Andra d'ailleurs, mais je dirais, d'une manière plus générale, par tous les acteurs du milieu nucléaire au sens large : les organismes nucléaires, mais aussi le ministère de l'Industrie et les responsables politiques qui se sont intéressés à la politique de gestion des déchets nucléaires, et qui, pour certains d'entre eux, suivent cette question depuis de longues années. Le papier rappelle que c'est à la suite de conflits d'implantation liés au stockage que cette notion a fini par être prise au sérieux. Il est bon d'y insister : si nous sommes réunis aujourd'hui pour parler de la réversibilité, c'est au fond parce que le principe de l'irréversibilité du stockage n'a pas été accepté par les populations concernées.

Ce principe d'irréversibilité a été rejeté dès les premières campagnes de prospection menées par l'Andra dans les années quatre-vingt. La réversibilité a ensuite été réclamée au moment des auditions menées par Christian Bataille en 1990 pour le compte de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques. Le principe de réversibilité a été défendu au moment du vote de la loi de 1991 par un certain nombre de députés. Il y avait même des amendements qui avaient été proposés pour garantir la réversibilité des stockages, amendements qui ont été rejetés mais qui, finalement, ont contribué à définir un axe de recherche qui comprend l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible. La réversibilité a de nouveau été réclamée au moment des enquêtes publiques de 1997. La notion a donné lieu à de nombreux rapports, dont celui de la CNE, à l'échelle nationale et internationale. Puis, avec l'arrivée de la gauche plurielle au Gouvernement, ce principe de réversibilité a finalement été imposé : le ministre de l'Environnement de l'époque avait en effet refusé de signer les décrets si la réversibilité n'était pas garantie.

Lorsqu'on regarde cette évolution historique, la première réaction que l'on peut avoir est celle-ci : que de temps perdu ! Si les revendications en faveur de la réversibilité avaient été prises au sérieux dès le départ, il est probable qu'il y aurait eu une économie de temps et d'argent, puisque ce principe a fini par s'imposer et exerce désormais une contrainte forte sur l'élaboration des solutions. Il faut peut-être en tirer des leçons pour l'avenir et - vous l'avez dit à la fin de la présentation - savoir davantage utiliser les conflits comme des signaux précoces concernant les problèmes ou les exigences dont il faudrait tôt ou tard tenir compte, comme nous y invitaient déjà les sociologues des sciences dans les années quatre-vingt qui recommandaient de « tirer parti » des controverses en les envisageant comme une évaluation informelle des projets technologiques.

L'histoire de cette montée en puissance du thème de la réversibilité, c'est à la fois une bonne illustration de la manière dont certaines revendications parviennent à trouver des traductions techniques et s'intègrent à la dynamique d'innovation et de création technologique, et en même temps une bonne illustration des difficultés qui caractérisent ce processus d'intégration.

J'en viens maintenant à ma troisième et dernière remarque, qui porte sur la distinction entre récupérabilité et réversibilité.

Comme l'indique clairement la contribution de monsieur Hoorelbeke, la réversibilité correspond à une approche plus large que celle de la récupérabilité, en ce sens que la réversibilité inclut aussi la possibilité de revenir sur la décision même de stocker les déchets nucléaires. Ce n'est pas le cas pour la récupérabilité : la récupérabilité des déchets n'implique pas forcément une réversibilité au niveau de la décision du stockage. Je crois qu'il faut bien mesurer l'importance de cette distinction entre la réversibilité, qui concerne les décisions, et la récupérabilité qui correspond au stockage lui-même. C'est-à-dire qu'en absence d'alternative réelle au stockage géologique, la récupérabilité, même si elle est possible, ne permettra pas de s'orienter vers un autre mode de stockage ou de traitement des déchets. En somme, la récupérabilité ne garantit en rien la réversibilité.

Or - et c'est là que j'aimerais avoir des précisions de la part de l'Andra - la conception de la réversibilité privilégiée par l'Andra n'est pas tout à fait claire pour moi. D'un côté, comme vous l'avez indiqué à la fin de votre intervention, deux solutions peuvent être explorées et mises en parallèle : le stockage géologique et la solution de l'entreposage pérennisé - pourquoi d'ailleurs, pour revenir aux questions de terminologie, ne pas parler tout simplement de stockage en surface ? D'ailleurs, au passage, et contrairement à une idée reçue, l'entreposage pérennisé n'est pas une revendication portée uniquement par les opposants au stockage géologique puisque, Michel Callon peut en témoigner, nous avons travaillé dans les années quatre-vingt-dix avec une équipe du CEA qui était en charge de ce que l'on appelait à l'époque « l'entreposage de très longue durée » - une notion qui a un peu disparu - et eux envisageaient clairement l'hypothèse d'un entreposage pérennisé. Je ferme cette parenthèse. Donc, d'un côté, la mise en parallèle de ces deux options renvoie à une conception élargie de la réversibilité. Il s'agit là de proposer réellement une alternative en termes de décision, soit stockage, soit entreposage. Or, d'un autre côté, la réflexion de l'Andra paraît quand même très focalisée sur le stockage en profondeur et donc uniquement sur la récupérabilité.

On a quand même l'impression que l'entreposage pérennisé semble une sous-option, qui n'est pas vraiment pensée comme une alternative sérieuse. Qu'en est-il exactement ? La question que je me pose - et c'est là une manière de lancer la discussion -, est la suivante : pourquoi le stockage géologique bénéficie-t-il toujours d'un préjugé favorable parmi les ingénieurs ? La réponse se trouve dans le papier : c'est que le stockage géologique permet de s'affranchir des incertitudes liées aux capacités de la société à surveiller ou à renouveler une installation industrielle dans la longue durée. C'est sur ce point qu'il faudrait peut-être s'interroger. Au fond, qu'en est-il vraiment de cette incertitude et au nom de quoi peut-on considérer qu'elle est plus importante que l'incertitude liée à la géologie ? Je pense que nous pourrions avoir une discussion sur le sujet.

Quoi qu'il en soit, il me semble, et je termine par là, que la distinction entre réversibilité et récupérabilité est assez cruciale pour un organisme comme l'Andra. Si l'Andra n'a évidemment pas à décider de l'option qui sera choisie en définitive, on peut se demander si son rôle n'est pas de traduire techniquement la possibilité d'une réversibilité décisionnelle, et par conséquent de proposer non seulement des options permettant de garantir la récupérabilité mais également des options permettant de garantir la réversibilité de la décision. Pour être clair, il s'agirait alors de proposer, parallèlement au stockage en profondeur, une option alternative d'entreposage pérennisé. Il me semble, en tout cas, que l'Andra a les compétences, l'expérience et le savoir-faire pour s'engager dans cette direction.

Jean-Michel HOORELBEKE

Il y a eu des discussions avec des parties prenantes sur le fait que l'entreposage pérennisé fasse ou non partie de notre programme de recherche sur l'entreposage. Et la conclusion qui en est sortie est que la loi ayant choisi comme solution de référence le stockage géologique, nous sommes missionnés pour étudier avant tout l'entreposage complémentaire à ce stockage géologique. L'Andra envisage cependant de mener une analyse comparative de l'entreposage pérennisé et du stockage/entreposage complémentaire.

La définition du stockage réversible

Jean-Noël DUMONT

Andra, correspondant transverse « Réversibilité » du projet HAVL

En liminaire, on rappelle que les déchets considérés dans les études de stockage géologique réversible sont de trois types : déchets HA - de haute activité - (conditionnés sous forme de déchets vitrifiés dans des conteneurs en inox réfractaire), déchets MA-VL - de moyenne activité à vie longue - (déchets variés conditionnés suivant des procédés divers en fonction de leur nature et des producteurs) et combustibles nucléaires usés. La loi du 28 juin 2006 ayant inscrit en référence le retraitement des combustibles issus des centrales nucléaires de production d'électricité, la population de combustibles usés actuellement considérée dans les études de stockage et assimilée à la catégorie des déchets HA est très limitée (combustibles de recherche ou de propulsion navale).

L'approche de réversibilité repose, d'une part, sur des options techniques de conception, qui précèdent la réalisation du stockage, et, d'autre part, sur des modalités de gestion du processus de stockage. Les premières doivent être fixées rapidement (échéance 2009) pour être en mesure de respecter les échéances de la loi du 28 juin 2006. Pour les secondes, l'Andra fera des propositions, sachant que leur définition doit résulter d'un échange nourri avec les parties prenantes. En réalité, ces deux catégories ne sont pas indépendantes, puisque la conception conditionne les gestions possibles, et que les hypothèses sur la gestion dimensionnent la conception.

Les options techniques de conception.

Le Dossier 2005 a défini trois grandes fonctionnalités issues de la réversibilité : capacité de retrait des colis, capacité d'action sur le processus de stockage, capacité d'évolution de la conception. Ces fonctionnalités sont reprises dans les études en cours, et se déclinent en dispositions techniques concrètes.

La capacité à retirer les colis repose sur la **conception des colis et des alvéoles** : en premier lieu, les vides résiduels après la mise en place des colis (jeux de manutention entre colis et entre colis et ouvrages) sont minimisés, afin qu'il ne soit pas nécessaire de les colmater avec un matériau de remplissage pour maintenir un comportement satisfaisant du stockage au regard des performances de sûreté. En second lieu, les moyens de préhension des colis stockés permettent leur retrait sur la durée de la période de réversibilité, compte tenu des phénomènes en jeu dans le stockage (corrosion, dégradation des bétons, déformations mécaniques). Pour la plupart des déchets, ces deux critères conduisent à reconditionner les colis réalisés par les producteurs de déchets (« colis primaires »), en colis de stockage. Le passage de colis primaires à colis de stockage présente aussi des avantages en termes d'exploitation ou de sûreté à long terme : standardisation et réduction des flux pour les colis MA-VL, protection des déchets HA et des combustibles usés pendant la période thermique.

Les schémas suivants illustrent la conception envisagée pour les colis et les alvéoles. Ils sont extraits du Dossier 2005.

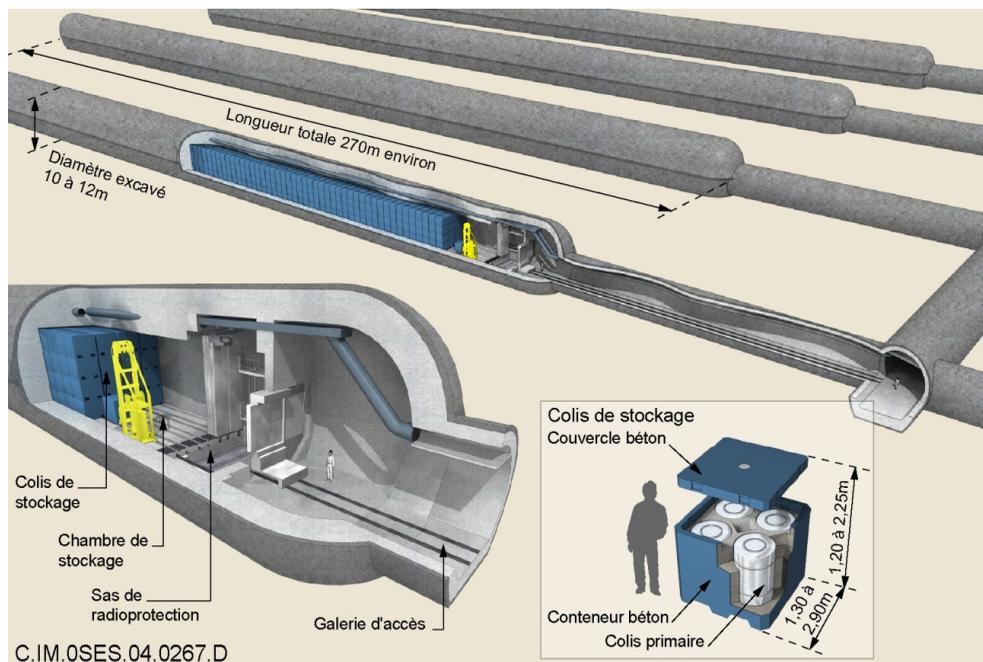


Fig. 1 - Schéma d'une alvéole et d'un colis de stockage MA-VL

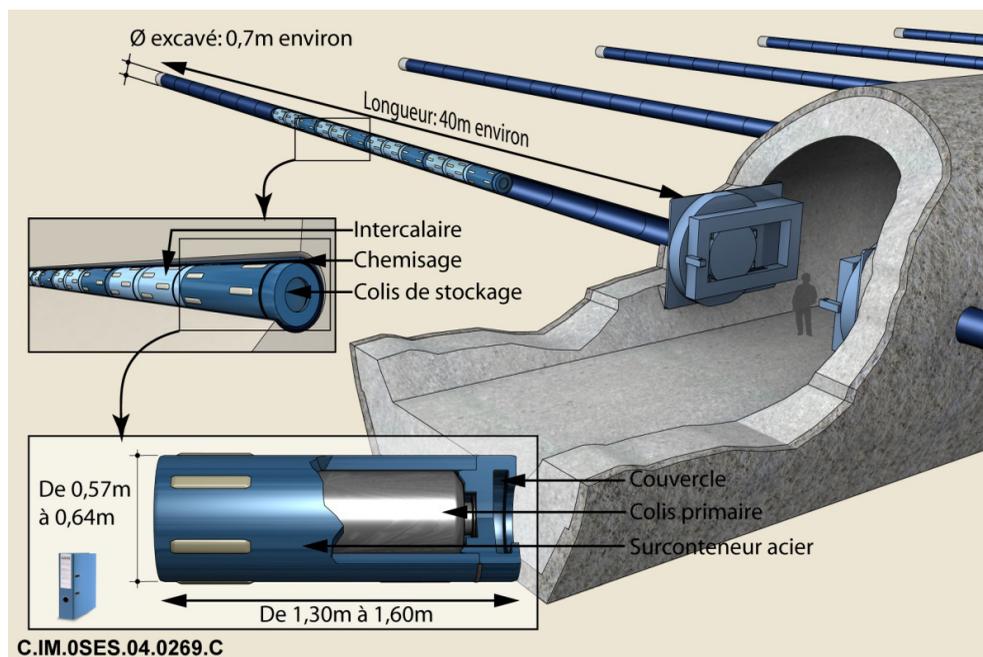


Fig. 2 - Schéma d'une alvéole et d'un colis de stockage HA

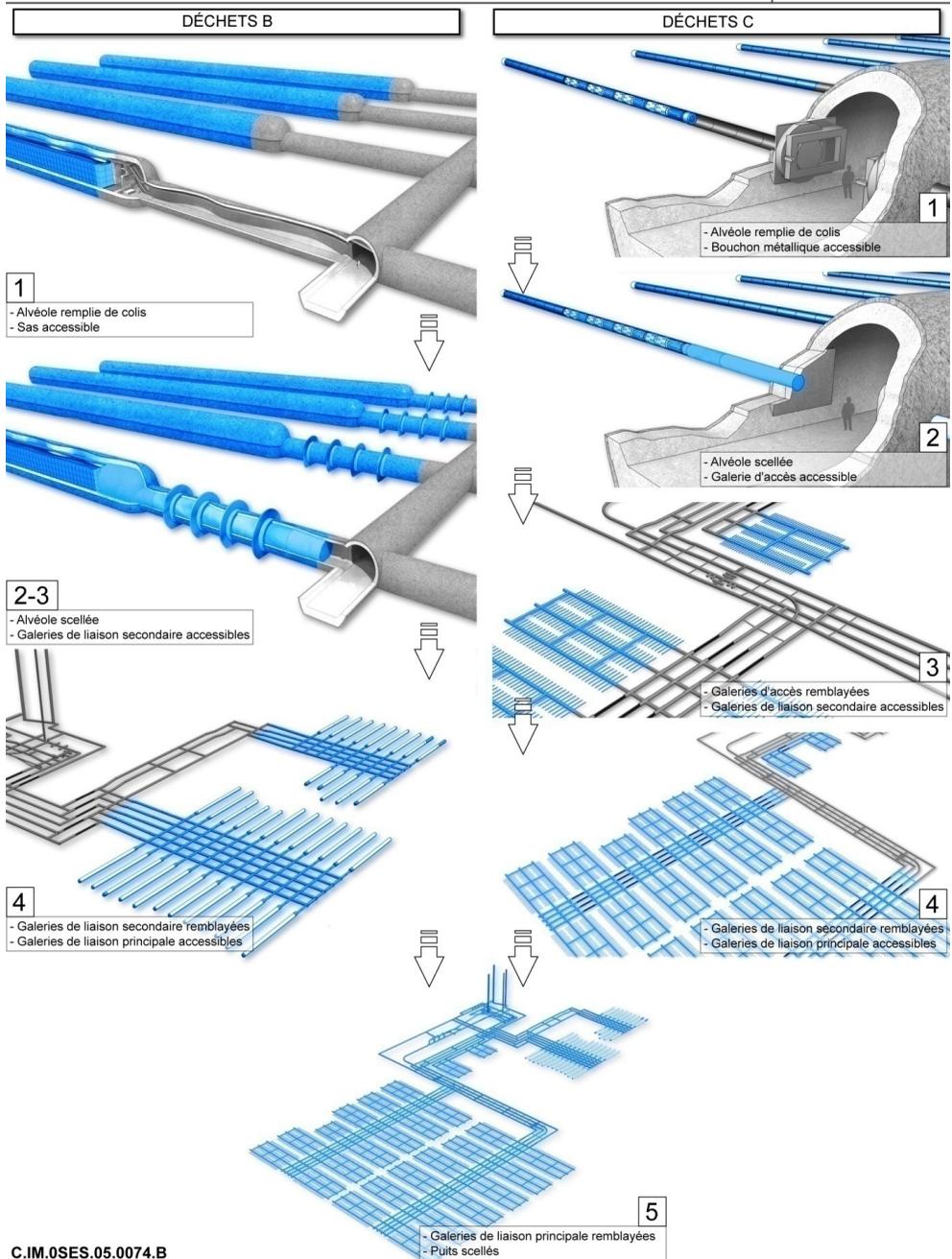
La capacité d'action sur le processus de stockage repose sur :

- la **durabilité** des ouvrages et la maîtrise de leur évolution pendant la phase de réversibilité. Le Dossier 2005 évaluait la durée de vie des ouvrages à deux cents à trois cents ans. Les évaluateurs ont jugé cette affirmation insuffisamment fondée, sur la base du retour d'expérience actuellement disponible. La loi du 28 juin 2006 a fixé une durée minimale de cent ans à la réversibilité. Les études en cours sont basées sur un dimensionnement permettant d'assurer une durée de vie minimale de cent ans, et examinent en sensibilité la possibilité et les implications d'une extension de cette durée. La maîtrise des phénomènes en jeu pendant la phase de réversibilité est recherchée, pour permettre l'extension de la durée de réversibilité à dimensionnement fixé. Par exemple, on cherche à limiter les entrées d'air dans les alvéoles HA pour limiter la vitesse de corrosion des aciers (plus faible en l'absence d'oxygène) ;
- une **modularité** des installations de stockage, et sur un jalonnement des opérations. La construction et l'exploitation se font par tranches de cinq à dix ans. Une architecture d'ensemble du stockage est définie pour permettre de faire évoluer la conception entre les tranches successives. Les opérations de fermeture se font par étapes (fermeture alvéole, fermeture galeries au sein d'une tranche, fermeture galeries principales, fermeture liaisons jour-fond). La figure 3 illustre la modularité des installations souterraines et le jalonnement des opérations de fermeture. Il est extrait du Dossier 2005. La dénomination déchets B s'entend pour les déchets MA-VL, la dénomination déchets C s'entend pour les déchets HA ;
- la **capacité à observer** l'évolution des ouvrages : des moyens d'auscultation des ouvrages peuvent être mis en place. La définition de ces moyens repose sur le retour d'expérience des capteurs en place depuis parfois plus d'un demi-siècle sur certains grands ouvrages de génie civil, et sur les développements en cours ;
- la **capacité à maintenir les ouvrages** (hors les alvéoles). Les ouvrages d'accès aux alvéoles de stockage autant les autres ouvrages, galeries d'accès, puits, descenderies éventuelles peuvent faire l'objet de travaux de maintenance. Ceci permettra en particulier d'obtenir pour les dernières alvéoles construites la même durée de réversibilité, si souhaité, que pour les premières.

La capacité à faire évoluer la conception repose sur des options techniques (architecture modulaire, capacité à observer) et sur des modalités de gestion (observation et surveillance, gestion des connaissances issues du retour d'expérience, capitalisation des résultats de mesures via des outils de simulation permettant l'extrapolation à d'autres géométries, d'autres durées, etc.).

la gestion par étapes du processus de fermeture du stockage est illustrée sur la figure 3 et décrite dans la présentation n°3 - *Gestion par étapes et processus décisionnel*.

Les étapes de fermeture



C.IM.0SES.05.0074.B

Fig. 3 - Fermeture progressive du stockage

Les modalités de gestion

Pendant l'exploitation du stockage, la réversibilité s'appuie sur la gestion courante des déchets et des installations, telle que permise par la conception, et sur le processus décisionnel associé aux jalons.

La gestion courante des installations et des colis

L'observation et la surveillance des installations : un suivi de l'état des ouvrages au cours de la période de réversibilité est recherché afin de renseigner la prise de décision lors des jalons successifs. Cela permettra notamment de réévaluer périodiquement la durabilité dimensionnelle des ouvrages. Ce point sera détaillé dans la présentation sur l'observation du stockage.

La surveillance des colis débute dès la production des colis primaires en amont du stockage et se poursuit pendant tout le processus d'entreposage puis de stockage. La phase d'entreposage préalable au stockage offre des possibilités intéressantes pour surveiller le comportement de colis présentant des problématiques particulières, car les contraintes d'accès aux colis sont moindres qu'en alvéole de stockage. Dans le cadre des études de sûreté, le retrait d'un colis est une des possibilités pour gérer l'éventualité de défaillances.

La disponibilité des moyens d'entreposage cohérente avec les besoins issus d'un retrait éventuel. En particulier, comme le retrait des colis n'est qu'une éventualité, la capacité d'accueil des installations d'entreposage vis-à-vis des colis retirés sera limitée à l'accueil des premiers colis, le temps que de nouvelles capacités soient construites. Pour évaluer cette capacité à maintenir disponible, le flux de retrait des colis sera considéré du même ordre de grandeur que le flux de mise en place. Les surfaces foncières disponibles devront permettre la construction de ces nouvelles capacités. Leur dimensionnement devra prendre en compte des hypothèses de flux d'évacuation vers de nouvelles filières (de valorisation, de reconditionnement, etc.).

Le processus décisionnel associé aux jalons

La gestion réversible du stockage implique que des décisions seront prises, aux différents stades de l'exploitation, dans le sens d'une poursuite du processus de stockage (fermeture progressive), d'un maintien en l'état ou d'un retour en arrière. Le champ des possibles à chaque stade résulte de la conception initiale et des décisions prises antérieurement dans le processus. La définition de modalités pour le processus décisionnel est donc partie intégrante de l'approche de réversibilité. En particulier, la réflexion doit porter sur la nature des décisions pour lesquelles les parties prenantes peuvent ou doivent être associées, sur la granulométrie temporelle de ces décisions, sur le niveau d'implication des différentes parties prenantes.

Pour faciliter les échanges entre les experts du domaine technique et les parties prenantes, il a paru souhaitable de disposer d'une passerelle. C'est pourquoi l'Andra a élaboré un projet d'échelle de réversibilité, et proposé de développer cette échelle dans un cadre international. Le projet, présenté p.45, est basé sur la facilité de retour

au déchet initial. Chaque variation de niveau est associée à une étape importante de la gestion des déchets. Il commence en amont du stockage. Ainsi, l'échelle comporte sept niveaux, mais seuls les cinq derniers niveaux concernent les déchets en stockage. Le niveau 5 est défini pour des déchets conditionnés en colis de stockage, et accessibles aisément : il correspond donc à des colis de stockage entreposés ou stockés. Il n'y a pas de niveau 0, car tant que l'existence du stockage est connue, il existe une capacité à retirer les déchets, ne serait-ce que par des techniques minières. Le niveau 0 correspondrait à un stockage oublié. La dénomination des niveaux est indicative, car donnée ici à titre d'illustration ; en pratique, les niveaux seraient évalués à partir de plusieurs critères, tels que le temps d'accès au colis, la technologie à mettre en œuvre pour le retrait, le coût des opérations de retrait, etc.

L'Andra souhaite développer cette échelle dans un cadre international, pour lui donner plus de valeur, quitte à devoir attendre 2011 avant de disposer d'une échelle finalisée. Ceci résulte en une nécessité de parallélisation, qui peut générer des difficultés : nécessité de mener en parallèle le développement de l'échelle au niveau international, qui suppose la possibilité de remise en cause profonde du projet d'échelle actuel, et l'information des parties prenantes sur ce développement en cours, qui suppose la présentation du projet d'échelle non finalisé.

L'Andra participe au projet « *Reversibility and Retrievability* » dans le cadre de l'Agence de l'énergie nucléaire, et a proposé à ses partenaires d'élaborer cette échelle dans ce cadre. Le travail d'élaboration de l'échelle devrait porter sur le nombre et la définition des niveaux de réversibilité à faire apparaître, sur leur organisation, sur le choix des indicateurs et des critères pour caractériser les différents niveaux, sur l'utilisation de l'échelle et notamment l'évaluation du niveau d'un programme de stockage dans l'échelle à un moment donné (comment combiner les critères, qui fait l'évaluation, etc.) et la présentation des différents programmes nationaux au moyen de ce cadre standardisé.

Par ailleurs, afin de rendre plus concrète la notion de réversibilité, l'Espace technologique de Saudron présentera des démonstrateurs de colis et de manutention, ainsi que des animations (infographie) présentant les différentes étapes de fermeture du stockage. Ces démonstrateurs viendront en support des échanges avec les parties prenantes en amont du dossier d'autorisation de création du stockage. Plus généralement, la question du niveau de démonstration à mettre en œuvre avant chaque décision de changement de niveau dans l'échelle peut être posée.

Discussion

Manuel ZACKLAD

CNAM / Tech-CICO – U.T. de Troyes

Notre perspective sera plutôt une perspective de sciences de l'information et de la communication que de sociologie ou de sciences politiques. Notre contribution correspondra également à une forme de critique constructive de la notion de réversibilité, dans le même esprit que ce que vous a présenté Yannick Barthe. Pour élaborer cette critique constructive, nous partirons de la manière dont vous avez défini cette notion.

Je crois que, depuis vos collaborations anciennes avec les sociologues des sciences, il est bien clair pour vous que la réversibilité est un enjeu autant technique qu'institutionnel puisqu'il n'y pas de décision sans les moyens matériels de l'appliquer et qu'il n'y a pas de mise en œuvre de moyens techniques sans une configuration socio-organisationnelle associée à cette mise en œuvre. Nous sommes tous d'accord, je pense, sur le fait qu'aucune réversibilité n'est possible à strictement parler, à moins de monter dans une machine à remonter le temps. Il est clair que la réversibilité correspond à une forme de compromis socialement, politiquement, économiquement, techniquement acceptable. Ce compromis doit être au service d'un processus de délibération, d'apprentissage collectif, dans un esprit proche de celui mis en évidence par nos collègues qui parlent de décision en incertitude.

Le premier exposé, ce matin nous proposait une définition de la réversibilité, elle-même déjà très imprégnée de sociologie finalement, basée sur la possibilité d'un pilotage progressif et évolutif du processus de stockage laissant aux générations à venir une liberté de décisions sur ce processus en insistant sur trois points :

- recherche d'ouverture dans la prise de décision ;
- conduite prudente ;
- application du principe de précaution.

Jean-Noël Dumont décline cette définition de manière plus opérationnelle, dans le contexte concret de l'Andra, en parlant d'une part de capacité de retrait, d'autre part de capacité à agir sur le processus de stockage et enfin de capacité à faire évoluer la conception.

Je pense qu'il est normal d'avoir des débats sur la définition de la réversibilité. Je proposerai ici une définition plus abstraite : la réversibilité est la propriété d'un système d'actions en mesure d'offrir aux parties prenantes des possibilités concrètes d'intervention à différents stades de son déroulement pour l'interrompre ou atténuer certaines de ses conséquences en se rapprochant de l'état antérieur de l'une ou l'autre de ses composantes jugées critiques.

Comme on l'a déjà évoqué, la réversibilité concerne différents processus de manière non exclusive :

- la conception amont, consistant à se doter de la possibilité de revenir à un état antérieur du plan pour examiner d'autres options (je pense que c'est un des domaines dans lequel l'Andra pourrait progresser) ;
- le procès matériel de réalisation : fabrication, exploitation et donc capacité matérielle à agir sur le processus de stockage comme cela est bien mis en évidence;
- les conséquences engendrées par le procès matériel de réalisation sur les objets transformés ou sur l'environnement : réparation, retraitement, correspondant à la capacité de retrait dont nous parlait Jean-Noël Dumont.

Alors qu'est-ce qu'implique la réversibilité ? En fait, quatre choses :

- dans le contexte de la mise en place du procès matériel de réalisation, d'utiliser des techniques qui permettent de minimiser les coûts associés à un retour en arrière ou à une bifurcation en direction d'une autre option ;
- deuxièmement, tout au long de la conception et de la mise en œuvre, d'informer les parties prenantes. Pour cela, il faut disposer des moyens techniques qui vont permettre d'assurer l'enregistrement, la documentation, la diffusion, l'appropriation de ces informations. L'échelle de réversibilité que l'on a vous présentée tout à l'heure fait partie de ces techniques mais n'est pas le seul outil à mettre en place ;
- troisièmement de susciter des options alternatives de manière à ouvrir le champ des possibles dans une logique de correction et de flexibilité plutôt que de réversibilité stricte ;
- enfin, d'organiser la délibération et là encore de disposer des moyens techniques permettant son déroulement. Sur ce point il n'est peut-être pas uniquement de la responsabilité de l'Andra de réfléchir aux moyens à mettre en œuvre.

Quelques mots sur l'échelle de réversibilité. On a vu qu'elle est évoquée dans un contexte de gestion des installations et associée au procès matériel de réalisation du processus de stockage. D'une certaine manière, comme diraient nos amis gestionnaires, cette échelle de réversibilité est un excellent exemple d'un instrument de gestion (Michel Berry) qui va permettre de coordonner différentes parties prenantes. Elle permet à chaque étape du processus de prévoir les moyens qui permettraient de revenir en arrière et de demander systématiquement l'accord des tiers pour franchir une étape suivante. Même en s'en tenant à cette acception, il s'agirait déjà d'un grand progrès dans la conduite de nombreux projets technologiques.

On peut néanmoins faire des critiques constructives à cette notion. Comme tout instrument de gestion, il cadre les possibles et il peut avoir tendance à les enfermer dans un espace de variation très contraint. Par exemple, on pourrait également se demander : « Est-ce qu'il n'y a pas plusieurs options possibles à l'issue de chaque jalon ? » Dans l'échelle, on a l'impression que c'est un peu linéaire. Est-ce qu'il n'est pas possible d'inventer de nouvelles options qui ne sont pas décrites dans le schéma

initial ? Il n'y a pas assez de mise en relation avec la problématique de la conception amont puisque l'échelle est inscrite à l'intérieur d'une option de conception donnée. À mon avis, il faudrait articuler cette option avec d'autres options que ce soit dans le cas de l'entreposage ou dans celui du stockage définitif où il est peut-être possible d'imaginer d'autres solutions.

De mon point de vue, les dimensions les moins prises en compte aujourd'hui ont trait aux dispositifs qui permettraient d'informer les parties prenantes sur les évolutions du processus dans les phases de conception, de fabrication et d'exploitation. Ces dispositifs incluent les moyens techniques permettant d'assurer l'enregistrement, la documentation, la diffusion, l'appropriation de ces informations. Selon nous, il faut aller au-delà - puisque tout à l'heure, certains exposés parleront d'une instrumentation à l'aide de capteurs - de la réflexion concernant les capacités techniques de ces capteurs pour s'intéresser aux moyens qui permettraient de rendre les informations compréhensibles et appropriables par les parties prenantes.

Pour conclure, évoquons différentes composantes de l'instrumentation du processus d'évaluation nécessaire à la décision collective, processus selon nous intrinsèquement lié à la prise en compte de la réversibilité :

- il faut être en mesure d'archiver l'information et en particulier d'archiver les décisions de conception, les alternatives examinées et les arguments qui ont conduit à sélectionner l'une d'entre elles. C'est ce qu'on appelle le *design rational* dans le domaine de l'ergonomie de conception ;
- il faut documentariser ces données, pour reprendre le terme technique que nous utilisons au sein du laboratoire, pour permettre leur réexploitation effective, c'est-à-dire travailler les supports documentaires de manière à faciliter leur reprise par d'autres usagers, d'autres lecteurs, selon différents points de vue ;
- il faut organiser matériellement les possibilités de lecture, de consultation, de partage, d'annotations coopératives des documents ainsi constitués ;
- et il faut mettre en place des dispositifs qui sont simultanément, comme toujours, organisationnels et matériels, de délibération. Ce sont essentiellement ce que nous appelons « des espaces documentaires participatifs » qui correspondent à des bases documentaires dans lesquelles les participants peuvent déposer leurs propres ressources documentaires et contribuer à la rédaction et à l'édition (par exemple, des forums ou des Wiki).

Quels outils faciliteraient l'instrumentation de la documentarisation éditoriale pour faciliter les processus d'écriture et de lecture collective au sein des espaces documentaires participatifs ? D'abord, rappelons que ces outils ne visent pas nécessairement à se substituer aux rencontres en face à face qui conservent un rôle majeur dans la mise en place des forums hybrides. En revanche, nous insistons beaucoup, dans nos travaux, sur le fait que ces moments de rencontre gagnent à être prolongés par des phases d'écriture et de lecture collective. Dans les espaces documentaires

participatifs utilisés à cette fin se pose alors la question de la responsabilité éditoriale au sein de ces dispositifs d'écriture et de lecture collective. Par exemple, il faut pouvoir définir, de manière collégiale et « hybride », les thèmes qui organisent l'accès aux ressources documentaires et qui finalement structurent la représentation des débats et leur prolongation et renvoient à des enjeux de gouvernance.

Selon nous, la gouvernance des processus de délibération (qui débouchent souvent sur des décisions) est transposée en termes de gouvernance éditoriale dans les « espaces documentaires participatifs » en se traduisant, par exemple, par l'attribution de droits relatifs à la définition des thématiques, des agendas, des corrections, des mots-clés décrivant les documents. Les méthodes et les techniques que nous cherchons à développer dans ce domaine relèvent de ce que nous appelons le « web socio sémantique ». Elles permettent de construire, de manière progressive, dialogique, une sémantique partagée selon des approches multi-points de vue, ceux des différents métiers techniques, ceux des politiques, ceux des usagers, ceux des habitants, etc, pour instrumenter une forme de processus de lecture herméneutique et de rédaction dialogique préalable à la décision.

En conclusion, il me semble nécessaire de mettre l'accent sur la nécessité d'une approche pluridisciplinaire dans la conduite des études sur la réversibilité à l'intérieur des sciences humaines et sociales. On a déjà largement convoqué ici la sociologie de l'innovation, des sciences, des organisations, mais aussi les sciences politiques, la géographie, l'aménagement du territoire. Les sciences de gestion ont leur importance dans la réflexion sur la mise en place des instruments de gestion, comme on l'a vu avec la notion d'échelle de réversibilité qui ne relève pas uniquement de l'ingénierie. Nous espérons avoir montré que les sciences de l'information et de la communication ont également toute leur place dans la définition des dispositifs documentaires qui permettent d'instrumenter la participation et la décision en lien avec les travaux en informatique coopérative et documentaire et en ingénierie des connaissances.

Discussion générale

Stefan MAYER

Une question pour le premier discutant de la première présentation. Vous avez présenté que, dès les années quatre-vingt, la réversibilité était une demande sociétale, si je vous ai bien compris. Comment est-ce qu'elle était comprise à l'époque ? Quel était le contenu de cette demande ?

Yannick BARTHE

D'après ce que j'ai pu en lire, disons que ce sont un peu toujours les mêmes arguments qui émergent sur le sujet : la réversibilité permet de bénéficier des progrès scientifiques éventuels sur d'autres modes de retraitement des déchets nucléaires et, évidemment, de laisser une liberté de choix aux générations futures. Mais on pourrait remonter beaucoup plus loin dans le temps, pour constater que la réversibilité, c'est aussi une exigence qui a été réclamée à un moment donné par les gestionnaires des déchets nucléaires. Dans les années soixante, par exemple, si on a renoncé à l'immersion des déchets nucléaires, c'est aussi, entre autres, parce que c'était une solution qui était irréversible, et donc qui ne permettait pas de reprendre les déchets dans l'optique d'une valorisation industrielle ou d'une valorisation militaire puisque l'armée américaine envisageait de les utiliser contre des ennemis potentiels. Ce qui est intéressant, justement, c'est de suivre historiquement cette notion qui apparaît comme un serpent de mer avec des arguments qui sont un peu reformulés, mais dont certains ont une certaine continuité.

Saida LAÂROUCHI-ENGSTRÖM

J'ai deux questions à Yannick Barthe. Pour nous, en Suède, la notion de réversibilité ne peut se comprendre qu'en relation avec une période de temps, sans quoi c'est vraiment de la réversibilité absolue, c'est plutôt une façon de mettre « *smoking quiets* » vis-à-vis de la société. La récupérabilité, c'est une notion absolument nécessaire pour la phase opératoire du stockage définitif. Il faut toujours pouvoir retirer un colis ou refaire votre opération si vous trouvez qu'il y a un défaut quelque part. Déjà là, de parler de la réversibilité, en termes absolus, ce n'est pas compréhensible.

La deuxième question, sur le développement de la société. Est-ce que la société serait le maillon faible et c'est pourquoi on parle d'une façon définitive d'un stockage profond ? Quand on fait des analyses de sûreté d'un stockage profond, on choisit toujours les processus les moins optimistes possibles. C'est toujours très conservateur, c'est toujours ce qui peut arriver - réellement on ne pense pas que ça va arriver - mais c'est toujours de là qu'on part. La société a un développement dystonique, la société part dans le même sens. On ne peut pas faire des calculs optimistes, ni sur les suppositions d'analyses de sûreté, ni sur le développement de la société. Si on a des gens qui se développent dans la paix, un développement technique, à la bonne heure, c'est parfait. Mais, nous, on doit faire des suppositions qui vont dans le sens contraire. Alors est-ce que vous avez un commentaire sur tout ça ?

Yannick BARTHE

Je connais ce type de raisonnements fondés sur des scénarios très pessimistes, en l'occurrence sur un état de guerre. Mais s'il y a réellement une guerre, est-ce que vous croyez que la question du stockage des déchets nucléaires sera vraiment si importante ? Je veux dire par là qu'il y aura sans doute des priorités qui seront autres. Avancer un argument selon lequel on ne peut pas faire confiance à la société dans la mesure où les institutions sociales peuvent être détruites est un peu curieux car, si c'est le cas, le problème des déchets nucléaires paraît un peu secondaire.

En ce qui concerne la réversibilité, je comprends qu'on ne peut pas raisonner en termes de réversibilité absolue, mais au fond personne, me semble-t-il, réclame une réversibilité « absolue ». Dans le cas de l'entreposage pérennisé, qui consiste à renouveler tous les cent ans l'installation de stockage, c'est une réversibilité que je ne qualifierais pas d'« absolue » ; disons que dans ce cas le temps de la réversibilité est indéterminé. C'est-à-dire qu'on peut très bien décider, dans trois cents ans par exemple, de prendre la décision de ne pas reconstruire une installation en surface et d'enfourer les déchets de manière définitive.

Saida LAÂROUCHI-ENGSTRÖM

Mais ça, ça va plus à l'encontre d'une question de sûreté. Alors là, il y a quand même une discussion qui peut se faire, c'est satisfaire un besoin de sécurité chez le citoyen contre vraiment mettre en place des solutions d'ingénieur qui sont perçues comme les plus sûres par les scientifiques. Là il y a un débat à faire.

Yannick BARTHE

Je ne remets pas en cause l'équation « sûreté = stockage ». Ce n'est pas du tout mon propos. Mais je ne qualifierais pas cette conception de la sûreté comme étant « technique » par opposition au principe de réversibilité qui serait une exigence « sociale ». Il suffit d'ouvrir un petit peu la « boîte noire » de cette équation, et on peut montrer facilement que cette équation est tout aussi « sociale », construite historiquement. Elle repose sur une conception de la sûreté qui est tout à fait discutable, et qui consiste à dire que les structures géologiques sont plus stables et pérennes que les sociétés. C'est absolument discutable. Vous n'avez pas une étude qui pourrait me prouver que les sociétés sont moins stables que les couches géologiques. C'est invérifiable.

Francis CHATEAURAYNAUD

Je souhaite réagir là-dessus car je suis le dossier nucléaire d'une manière beaucoup plus lointaine, mais les déchets sont des éléments que je vois surgir régulièrement dans les arènes de discussion. Quand tu fais référence à la guerre, les antinucléaires vont très souvent chercher des exemples dans les ex-Républiques soviétiques ou ailleurs, et pas seulement les antinucléaires d'ailleurs, mais aussi les autorités de sûreté. La manière dont les déchets se mettent à proliférer, c'est quand même un des points cruciaux de la discussion. Je pense qu'on ne peut pas évacuer cet aspect en disant : « Chez nous c'est cadré, les enceintes ne fuient pas, nous savons parfaitement confiner nos déchets ». On a vu cet été à Tricastin...

Je crois qu'il y a implicitement dans la question de la réversibilité l'idée d'un dispositif confiné qui va faire l'objet ensuite d'un débat sur les choix technologiques, dont on a

vu déjà les premières modifications assez précises. Mais les acteurs sont capables de mettre les choses en variation, de façon plus large que ce qui est prévu. Cela renvoie à ce que disait Manuel : les options de départ supposent quand même, implicitement, déjà, énormément de confinement. C'est-à-dire qu'on a un déchet que l'on projette sur une échelle de temps unique. Mais, en fait, ce déchet est déjà pris dans des mondes extrêmement hétérogènes. Finalement, tu acceptes cette idée que tout est déjà préagencé, prédécoupé et que les décisions vont porter sur un objet clairement défini, ou non ?

Yannick BARTHE

Non. Il y a un point qu'on n'a pas évoqué, et c'est toujours un point problématique. Quand on parle de la réversibilité, en tout cas dans son sens large, c'est-à-dire au sens de réversibilité décisionnelle, il faut mettre dans la discussion les procédés de conditionnement. On sait très bien que la vitrification est un procédé essentiellement irréversible, et à partir du moment où il y a vitrification, c'est vrai que la discussion sur la réversibilité d'un stockage géologique n'a plus tellement de sens puisqu'on ne sait toujours pas quoi faire de déchets vitrifiés, comment les reprendre. Et, du coup, on ne voit pas tellement d'autres solutions que les enfouir. Je ne vois pas l'utilité d'envisager une récupérabilité sachant qu'il est dit par ailleurs que la vitrification est un procédé irréversible.

Jean-Noël DUMONT

Juste pour rebondir sur ce point d'irréversibilité de la vitrification. Début septembre, il y a eu une présentation à la conférence de Las Vegas, sur les déchets radioactifs par un chercheur de l'université de Nagoya qui, justement, a étudié la possibilité de redissoudre et de réextraire les éléments métalliques d'un verre nucléaire, pour supporter ce discours sur la réversibilité. Il montre alors qu'avec les moyens classiques, on peut faire de l'ordre de 10 %, en laboratoire, sur une petite échelle, il peut arriver à plus de 80 %.

Patrick LANDAIS

Ceci étant, il faut quand même être prudent. Redissoudre du verre, ça veut dire employer des acides concentrés et en température.

Jean-Noël DUMONT

Non justement. Il utilisait HNO_3 (acide nitrique) uniquement.

Patrick LANDAIS

Il faudra qu'il le démontre sur l'ensemble des verres qui sont disponibles. Pour l'instant, ce n'est pas vraiment le mouvement scientifique qui le dit. Il faut bien s'assurer que la somme des déchets chimiques voire radiologiques qui sera produite sera traitée d'une façon intelligente, mais ce n'est pas une certitude.

Juste une petite remarque d'abord sur le problème des échelles de temps, puisqu'on citait des échelles de quelques centaines d'années qui relèvent des sociétés, des

échelles géologiques, et sur la notion de stabilité. Je ne sais pas à combien on peut évaluer la stabilité d'une société. Mais la stabilité d'un environnement géologique, elle n'est tout d'abord pas absolue. Tout dépend de la localisation dans laquelle on décide de positionner un ouvrage, que ce soit un ouvrage de stockage, un barrage ou toute autre forme d'ouvrage. Il est clair que tous ceux qui s'intéressent à des ouvrages pérennes s'installent avant tout dans des structures géologiques qui ont montré, au cours des millions d'années qui viennent de s'écouler, une forte stabilité et sur lesquelles on est capable de mesurer des déplacements limités, constants dans le temps et qui correspondent aux grandes organisations connues des plaques tectoniques. Alors, si on considère le Bassin de Paris, au sens large du terme - on pourrait aussi choisir l'exemple des formations granitiques de Scandinavie - mais si on prend le Bassin de Paris, qu'est-ce qu'il y a ? On a une contrainte qui existe depuis vingt millions d'années, et qui est à l'origine de la formation des Alpes. Et cette contrainte-là, elle n'est pas modifiée. Et tous les enregistrements qui sont à l'heure actuelle réalisés ainsi que ceux qui peuvent être retrouvés sur les enregistrements géologiques des millions d'années qui viennent de se passer montrent qu'on se situe dans un régime tectonique continu et relevant des mêmes processus. Par conséquent, on ne se situe pas sur un secteur très actif ou très tectonisé au sein duquel l'énergie accumulée à l'intérieur des failles peut exploser à tout moment et éventuellement de façon peu prévisible. Cela peut être en partie le problème de nos collègues japonais qui sont globalement dans une zone de forte sismicité et de convergences intenses de plaques techniques. Ce n'est pas notre cas.

On a pu constater que l'altitude du mont Blanc a légèrement augmenté de quelques mètres, passant de 4 807 à 4 810 m. Cela est principalement dû au fait que l'essentiel de l'énergie liée à la convergence des plaques africaine et européenne est accommodé par les chaînes de montagnes. Et les montagnes continuent à grimper. Ce qui se passe dans les bassins sédimentaires, au-delà du Jura pour ce qui nous concerne, correspond finalement à des déplacements et des accumulations d'énergie dans les structures tectoniques mineures. Cela veut dire que, sur une période de quelques centaines de milliers d'années ou de quelques millions d'années, qui correspond à la nature d'un stockage de déchets radioactifs de type HA-MAVL, la stabilité géologique des formations encaissantes peut être démontrée non seulement à partir de l'ensemble des enregistrements du passé mais également à partir des observations actuelles. Ce n'est pas valable pour tous les environnements géologiques et le choix d'un environnement géologique pour une structure ouvragée que l'on souhaite pérenne est un élément très important.

Manuel ZACKLAD

Cet argument pourrait également être utilisé pour défendre un stockage pérennisé semi-profond. Cela n'implique pas qu'il faille rendre le stockage irréversible.

Patrick LANDAIS

Non, je ne dis pas ça. Je dis que les échelles de temps qui sont concernées ne sont pas des échelles de quelques centaines d'années.

Manuel ZACKLAD

Oui, mais cela n'implique pas un choix dans une direction ou une autre.

Patrick LANDAIS

Aucun problème là-dessus. Ce sont juste les échelles de temps sur lesquelles on considère que l'environnement géologique est stable. Ensuite, les choix qui sont faits par rapport à ça sont indépendants de la démonstration.

Michel CALLON

Oui, c'est évident qu'il n'y a pas de relation directe entre l'échelle géologique et les choix qu'on fait. Il y a quand même une petite relation, mais elle doit être discutée. Je pense qu'on ne va pas pouvoir régler la question cruciale de savoir si c'est à la géologie qu'il faut faire confiance plutôt qu'aux sociétés, parce que c'est une question difficile. On peut imaginer des scénarios dans lesquels il y aurait de nombreuses interférences entre les sociétés et la géologie. Mais ce qui serait à mon avis intéressant, puisqu'il s'agit de dégager des pistes de recherche, c'est qu'on aille au-delà du lieu commun qui consiste à dire : « La géologie est plus sûre que la société ». Je serais favorable à ce qu'il y ait un investissement à la fois de l'Andra et de la communauté des sciences sociales sur le thème : « Que pensez-vous de la stabilité relative des sociétés et des couches géologiques ? » avec une question secondaire : « Est-ce qu'on peut les apprécier indépendamment l'une de l'autre ? », parce que ou bien on considère que c'est une question à laquelle on peut répondre, et dans ce cas-là, il faut un argumentaire. Ou bien, on considère que c'est une question de principe, et il faut le dire. Mais je suis très frappé par le fait qu'au détour des argumentaires les plus techniques et les mieux structurés, on découvre une petite phrase qui est une affirmation péremptoire et qui est en réalité discutable (et discutée). Ce serait un point de discussion intéressant. Il y a de nombreux arguments qui viennent spontanément à l'esprit et qui relativisent la généralité d'une telle assertion ; et en particulier qui soulignent que la notion de stabilité n'est pas nécessairement la plus pertinente pour traiter la question des relations entre sociétés et nature. Dans la discussion de la réversibilité, il me semble qu'il faut accorder une certaine importance à cette question-là. Elle pourrait être posée, comme on faisait au XVIII^e siècle, par l'Académie des sciences : « Que penser des stabilités relatives, de la géologie et des sociétés humaines ? », ou bien on considère que c'est une question oiseuse, ce que j'admets parfaitement, mais alors on s'interdit d'écrire dans les documents qu'on fait circuler la phrase : « Les sociétés sont moins stables (ou moins sûres) que les couches géologiques ». Ou bien on considère que c'est une question difficile mais sur laquelle on peut avoir quelques éléments de réflexion et on entame cette réflexion. C'est simplement une réaction que je voulais exprimer.

Patrick LANDAIS

La stabilité géologique pourrait avoir une influence sur la stabilité des sociétés, je ne suis pas sûr que l'inverse soit juste.

Michel CALLON

La question centrale n'est pas celle de la stabilité des sociétés ou de la nature, mais de la viabilité des arrangements dans lesquels entrent à la fois des éléments sociaux (par exemple la capacité de changer d'option) et des éléments naturels (par exemple l'existence d'un stockage profond) : c'est la signification profonde du principe de précaution.

Patrick LANDAIS

Non, je ne parle pas d'interactions, mais de stabilité à l'échelle géologique, en termes de paramètres prépondérants.

Michel CALLON

Oui, mais la notion de stabilité, est d'une certaine manière hors sujet.

Michel SETBON

Mais j'aimerais avoir un éclaircissement de la part du premier conférencier et même des autres. Il se dégage, en tout cas du premier exposé et surtout du deuxième, qu'une des raisons de l'appropriation par l'Andra de la réversibilité qui lui pose problème - on l'a bien vu, tout ce séminaire en témoigne - qu'une des manières de s'approprier le concept de réversibilité apparaît de plus en plus à mes yeux comme une façon de rendre l'objet inaccessible. Alors justement face aux multiples sources de problèmes, ma question est « inaccessible » à l'homme, « inaccessible » à des gestes intempestifs, la géologie étant, comme le dit monsieur, beaucoup plus stable que les sociétés. Quoi qu'en dise Michel, je crois que beaucoup répondraient : « On peut dire en tout cas que les sociétés ne sont pas toujours stables ». Le sujet c'est : est-ce que l'une des raisons de l'appropriation qui fait le choix du stockage irréversible à la manière Andra, ça veut dire en fait c'est de le rendre inaccessible donc irréversible? Voilà ma question, c'est celle-là. Est-ce que dans vos motivations pour mettre en forme tout ça et malgré les échelles qui se terminent par l'échelle finale, par un stockage définitif, c'est parier sur le fait que la sûreté sera assurée par l'inaccessibilité ?

Jean-Noël DUMONT

Ça c'est la démarche de sûreté.

Michel SETBON

Non, elle n'est pas toujours centrée sur l'inaccessibilité.

Bruno CAHEN

Un des points essentiels de la spécificité du stockage et des démarches de sûreté à long terme est l'utilisation d'un dispositif n'exigeant aucune activité humaine à terme. À l'inverse de la sûreté nucléaire classique qui repose en général sur au moins un dispositif actif sur l'intervention humaine, la sûreté à long terme ne peut pas reposer sur l'intervention. Ce parce que, comme vous le savez sans doute, l'approche de sûreté des stockages de déchets veut qu'on puisse garantir le dispositif à très long terme. Personne ne serait capable de garantir que, dans trois cents ans, il y aura une personne à l'Andra, l'ASN ou nos successeurs - peu importe leur nom - en tout cas qu'il y aura bien un être humain pour appuyer sur le bon bouton au bon moment, qui pourra modifier le système technique le cas échéant pour l'adapter aux exigences du moment. Pouvons-nous garantir cela ? Oui ou non ? Comme la réponse est non, on doit envisager d'autres choses. La moins mauvaise solution - ce n'est pas absolu, c'est la moins mauvaise solution - est un isolement dans les couches géologiques les plus stables possibles, en référence aux exigences de sûreté édictées par l'ASN dans le guide relatif au stockage géologique

profond des déchets radioactifs, pour bénéficier de la décroissance de l'essentiel de la radioactivité initiale des déchets et les isoler de l'homme le plus longtemps possible. Mais, en aucun cas, il ne s'agit d'une solution absolue.

Manuel ZACKLAD

C'est un peu comme les Égyptiens qui cherchaient l'éternité dans les sarcophages.

MICHEL SETBON

C'est la fermeture inaccessible donc irréversible.

Bruno CAHEN

C'est la fermeture définitive du stockage qui le rend inaccessible aux activités humaines courantes de surface donc « irréversible » au sens commun, c'est-à-dire plus difficilement récupérable au sens technique. Un des premiers principes décrits dans le guide de sûreté de l'ASN, c'est isoler le déchet de l'homme pour profiter au maximum de la décroissance radioactive.

Manuel ZACKLAD

J'aime beaucoup votre intervention qui synthétise bien les échanges précédents. Selon une certaine perspective, le recours à l'enfouissement profond pourrait être assimilé à un défaut de confiance dans la capacité humaine à maintenir une mémoire. Ce point donne à réfléchir car il y a pourtant des éléments très stables dans les sociétés humaines. Les structures familiales, par exemple, existent depuis des millénaires sans être remises en cause. La capacité à prendre en charge collectivement la survie de l'espèce face à des dangers extrêmes qui la menace fait peut-être aussi partie des fondements des sociétés pour autant que celles-ci parviennent à maintenir une mémoire vivante de ces dangers.

Bruno CAHEN

C'est pour ça qu'il fallait faire un débat là-dessus. L'idée n'est pas non plus de lever les boucliers de confiance, de dire que nous n'avons pas de certitude certes, mais nous n'avons pas à l'inverse une confiance nulle dans la capacité humaine à maintenir la mémoire, peut-être sur un point défini. Et comme nous ne pouvons pas prouver que c'est possible, par défaut, on doit considérer que ce n'est pas garanti. C'est là d'ailleurs qu'intervient un mécanisme qui est un peu compliqué à expliquer en matière de sûreté qui est soit on peut le prouver - ça paraît un peu blanc ou noir mais la réalité est beaucoup plus complexe - et si vous ne pouvez pas prouver quelque chose, alors vous devez supposer qu'il n'est pas acquis, par construction. Mais ça ne nous empêche pas, par la suite du processus, d'en tenir compte quand même.

Saida LAÂROUCHI-ENGSTRÖM

Travaillant sur l'impact d'un stockage profond et l'évaluation de l'impact sur l'homme et l'environnement, il faut quand même se rappeler qu'on fait tout ce travail (analyse de sûreté, évaluation d'impact) justement pour isoler l'homme de ces déchets très radioactifs. À chaque fois, quand on parle d'entreposage ou de stockage pérennisé, c'est encore, à chaque fois, une façon de mettre l'homme en contact avec ces déchets.

Alors, on fait quelque chose qui va tout à fait à l'encontre philosophiquement de ce qu'on essaie de résoudre depuis le début. Et on le fait pourquoi ? C'est cette question qu'il faut se poser. Finalement, ce qu'on essaie de faire, c'est avoir un stockage sûr et d'isoler ces déchets aussi loin que possible de l'homme et de l'environnement. Et un stockage pérennisé par exemple n'est pas tout à fait conforme à cette réalité.

Yannick BARTHE

Ça d'accord. Mais ce qu'on essaie de dire, c'est qu'il y a peut-être des versions alternatives de la sûreté qui ne reposent pas, disons, sur la séparation des déchets de l'homme. Il ne s'agit pas de dire qu'il y a une conception qui est meilleure que l'autre, mais de ne pas privilégier une conception exclusive de la sûreté. Historiquement, on peut constater qu'il y a eu d'autres conceptions de la sûreté qui ont été privilégiées avant que l'idée de confinement, d'isolation, de séparation ne s'impose. Il s'agit seulement de remettre en contingence cet absolu que constitue la règle de sûreté. Encore une fois, ce n'est pas un jugement de valeur.

Sylvie VOINIS

Pour compléter ce qui a été dit précédemment, sur les activités humaines, il ne faut pas oublier que c'est un stockage en profondeur. Les Égyptiens ont construit des pyramides en surface et donc plus accessibles. S'ils avaient pu, à l'époque, faire leurs sarcophages à moins 500 mètres, on ne les aurait peut-être jamais découverts.

Il faut aussi repartir au fondamental et au rapport Goguel de 1987, qui avait essayé d'expliquer que, pour se protéger de l'homme, le stockage en profondeur était une solution robuste. Et il faut quand même toujours garder en tête cette notion sinon on pourrait comparer des installations en surface et des installations au fond. La sûreté à long terme est basée sur le principe en profondeur. On a déjà ainsi limité fortement l'accès de l'homme au stockage. Il ne faut pas l'oublier, c'est un principe fondamental.

Thibaud LABALETTE

En complément de la réponse de Bruno et de Sylvie, je voulais attirer l'attention sur une planche de Jean-Noël sur laquelle il est passé relativement rapidement. C'était de dire que, dans les jeux de décisions qu'on aura à prendre, si on raisonne par rapport ce niveau de réversibilité - est-ce que je franchis un niveau ou pas ? - ce qu'on montrait aussi c'est que quand on franchissait un niveau, on gagnait un niveau dans ce qu'on appelle « la sûreté passive », c'est-à-dire qu'on rajoute typiquement une barrière supplémentaire entre l'homme et le déchet. Et si on part du point de vue qu'en fait pour gérer, de façon sûre, ces déchets, il faut les isoler de l'homme - il y avait un double diagramme dans la présentation de Jean-Noël - on montre qu'avec un niveau de réversibilité très ouvert, un faible nombre de barrières est mis en place et puis que progressivement, quand on descend de cette échelle, on rajoute des niveaux de sûreté passive progressivement. Et s'il y a une différence entre entreposage de surface pérennisé par rapport au stockage des déchets, c'est que là, *a minima* on a mis en place potentiellement la barrière couche géologique autour.

Madeleine AKRICH

Moi, je voulais juste, en tant que quelqu'un qui n'est pas du tout spécialiste du nucléaire, revenir d'une autre façon sur les points qui ont déjà été faits autour du vocabulaire, et dire comment il était curieux, pour quelqu'un de l'extérieur, de voir définir la réversibilité comme un chemin vers l'irréversibilité. Il y a un petit paradoxe qui rend quand même la compréhension un peu difficile.

Et puis par ailleurs, sur ces questions d'interactions entre société et géologie, justement ce qui est intéressant - mais ça empiète un tout petit peu sur la discussion de cet après midi - c'est que lorsque l'on se met à étudier les conditions pour qu'une réversibilité soit possible, bizarrement, on est beaucoup moins assuré de ce que la géologie est tout à fait stable puisque les voûtes peuvent s'effondrer, etc. Je suis un peu frappée par ce paradoxe : quand on commence à regarder l'interaction entre les humains et la géologie, les systèmes sont beaucoup plus complexes à décrire et on a beaucoup moins d'assurance sur ce qui peut se produire.

Deuxième partie



Gestion par étapes et processus décisionnel

Thibaud LABALETTE
Andra, directeur des projets

Introduction

Après la construction des premiers ouvrages nécessaires à la mise en service, le développement progressif des infrastructures de stockage et la phase d'exploitation sont envisagés sur une durée d'ordre séculaire. La gestion réversible du stockage implique que des décisions seront prises aux différents stades de l'exploitation, dans le sens d'une poursuite du processus de stockage (fermeture progressive), d'un maintien en l'état ou d'un retour en arrière.

La définition des jalons décisionnels et des modalités du processus décisionnel associé constitue donc un enjeu important pour la future loi, prévue en 2016, qui définira les conditions de réversibilité avant que l'autorisation de création du centre de stockage puisse être délivrée.

L'Andra a identifié plusieurs étapes importantes dans le processus de stockage et sa fermeture progressive vers une installation sûre à long terme et passive. Ces étapes conduisent à élaborer un projet d'échelle de la réversibilité, qui peut constituer un cadre pour le processus décisionnel associé à la gestion réversible du stockage.

Les étapes du processus de stockage

La gestion des déchets radioactifs en amont du stockage

La loi du 28 juin 2006 définit les déchets radioactifs comme des « substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée », par opposition aux matières radioactives pour lesquelles une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée (cas des combustibles usés issus de la production électronucléaire par exemple). Les déchets radioactifs ultimes sont définis comme « des déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux ».

Avant prise en charge dans le futur centre de stockage, les déchets radioactifs doivent être caractérisés et conditionnés par leurs producteurs. Pour les déchets de haute activité (HA), les produits de fission (résidus issus du traitement des combustibles usés) sont incorporés dans une matrice vitreuse, qui présente des propriétés de confinement de la radioactivité sur le long terme, puis conditionnés dans un colis métallique (conteneur standard de déchets vitrifiés-CSD-V). Les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) sont conditionnés dans des colis métalliques ou en béton, sous différentes formes (compactés, enrobés dans une matrice cimentaire ou bitumineuse, etc.).

Les colis « primaires » de déchets déjà produits sont actuellement entreposés dans des installations spécialement aménagées. La loi du 28 juin 2006 prévoit que « après entreposage, les déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou à faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde ».

La construction et l'exploitation progressive du centre de stockage

Le développement progressif des installations de stockage

Après autorisation, les premiers ouvrages de stockage nécessaires pour la mise en service en 2025 seront construits. Ces ouvrages comprennent notamment : les installations de surface nécessaires à la préparation des colis de stockage et les installations support, les liaisons jour/fond (transfert des colis de stockage vers les installations souterraines, transfert des personnes et des matériels, évacuation des déblais, ventilation) et les premières alvéoles de stockage avec leurs galeries d'accès. Les premiers colis susceptibles d'être stockés sont des déchets de moyenne activité à vie longue, de haute activité faiblement exothermique ou des combustibles usés non traités, issus de la propulsion navale et d'activités de recherche. Les déchets de haute activité plus exothermiques nécessitent une période d'entreposage préalable avant stockage. L'Andra étudie en lien avec les producteurs les chroniques de prise en charge des colis dans le stockage.

La conception du stockage permet ensuite le développement progressif du stockage (creusement de nouvelles alvéoles) en parallèle des activités d'exploitation nucléaire (remplissage des alvéoles, surveillance, fermeture progressive). À terme, il convient de signaler le nombre important d'alvéoles de stockage (plusieurs dizaines de « grandes » alvéoles de type MA-VL, plusieurs milliers de « petites » alvéoles de type HA dans le scénario 1 décrit dans le modèle d'inventaire du dossier 2005).

Le conditionnement en conteneur de stockage

Avant leur mise en alvéole de stockage, les colis primaires sont placés dans des conteneurs de stockage :

- pour les déchets HA, un surconteneur en acier non allié permet d'empêcher une altération précoce du verre, accélérée par la température, pendant sa phase thermique (température supérieure à 50° C au cœur du verre). Son dimensionnement lui confère une étanchéité à une échelle de temps d'ordre millénaire, pour couvrir la phase thermique du verre. Le surconteneur évite également le risque d'un percement par corrosion au contact de l'eau de l'enveloppe du colis primaire en acier inoxydable, qui pourrait intervenir à l'échelle de quelques dizaines d'années, et d'une dissémination de radionucléides qui rendrait plus délicate une récupération des colis ;

- pour les déchets MA-VL, un conteneur en béton permet de standardiser les opérations de manutention. Il peut accueillir un ou plusieurs colis primaires. Il contribue à limiter le taux de vide dans l'alvéole après remplissage, ce qui évite la mise en place d'un matériau de remplissage entre les colis et les alvéoles, qui rendrait plus difficiles les opérations de reprise éventuelles. Par ailleurs, les performances de son matériau et son dimensionnement mécanique lui confèrent une durabilité à une échelle de temps d'ordre séculaire nécessaire à la réversibilité.

La mise en place du (des) colis primaire(s) dans le colis de stockage puis la fermeture du colis de stockage est réalisée par téléopération. Ces opérations peuvent être assurées en surface, sur le site de stockage, ou sur les sites producteurs (à l'étude pour certaines familles de colis).

La fermeture progressive des ouvrages de stockage

Plusieurs étapes clés peuvent être définies dans le processus de fermeture progressive du stockage vers une installation sûre à long terme et entièrement passive. Ces étapes sont décrites sur la figure 3 de la présentation n°2 *La définition du stockage réversible*.

Après mise en place des colis de stockage dans l'alvéole, celle-ci est remplie de colis et non scellée. Des dispositifs en tête d'alvéole protègent les personnes présentes dans les galeries d'accès aux alvéoles. L'ensemble des infrastructures souterraines est accessible. Cette période d'exploitation peut être considérée comme une période « sèche » pour les ouvrages ventilés (galeries de liaison, alvéoles MA-VL), ce qui limite la dégradation chimique des bétons d'infrastructure et des colis de stockage MA-VL. À l'inverse, l'absence de ventilation des alvéoles HA empêche la désaturation de celles-ci à leur pourtour.

L'étape suivante consiste à mettre en place le scellement d'alvéole (HA ou MA-VL). Les alvéoles sont fermées par un bouchon d'argile gonflante avec un massif d'appui en béton. Cette opération a pour effet d'initier la resaturation progressive de l'argilite et des ouvrages. Ce processus est lent compte tenu de la faible perméabilité des argilites. Les alvéoles HA sont rapidement en situation anoxiques (absence d'oxygène), ce qui conduit à de très faibles vitesses de corrosion de l'acier. Les galeries restent accessibles à ce stade. Compte tenu du nombre important d'alvéoles, l'exploitation du stockage sera probablement facilitée par la fermeture progressive des alvéoles déjà remplies. La possibilité d'utiliser certaines alvéoles témoins parmi les premières alvéoles exploitées pour tester le système de fermeture et acquérir des observations sur la durée semble intéressante.

Après fermeture d'une (ou quelques) alvéole(s)-témoin(s) HA, il peut être envisagé la fermeture de plusieurs alvéoles HA, regroupées au sein d'un même module d'exploitation. Pour les alvéoles MA-VL, l'unité d'exploitation est constituée par l'alvéole.

Après fermeture des alvéoles d'un module, l'étape suivante consiste à remblayer les galeries d'accès du module puis à fermer le module par des scellements de galeries. L'opération de remblayage des galeries est réalisée avec l'argile du site. Elle vise à limiter les vides résiduels du stockage après fermeture pour limiter l'endommagement à long terme des argilites après rupture des revêtements. La conception du stockage laisse ouverte la possibilité de fermer les premiers modules alors que de nouveaux modules sont construits ou exploités. Ces options ont un impact sur le volume des versos entreposé en surface lors de l'excavation des galeries et dans l'attente du remblayage.

Après fermeture de l'ensemble des alvéoles et galeries du stockage, l'étape suivante est la fermeture des ouvrages de liaison jour/fond et le début de la phase de contrôle institutionnel. Les données de surveillance sont collectées et archivées. Le maintien d'une observation est envisageable pour les paramètres accessibles à la mesure depuis la surface. La mémoire du stockage est maintenue.

L'étape suivante est la fin du contrôle institutionnel et l'arrêt de la surveillance du site. La mémoire du stockage est conservée.

L'étape suivante est la perte de mémoire du stockage. La sûreté du stockage repose entièrement sur des dispositions de sûreté passives.

Le projet d'échelle de réversibilité

Ces différentes étapes rendent de plus en plus difficile l'accès aux colis, à mesure que le caractère « passif » de la sûreté du stockage augmente. Cette constatation conduit à proposer la définition de niveaux de réversibilité décroissants dans une échelle de la réversibilité, introduite dans la présentation n°2 *La définition du stockage réversible*.

L'échelle est construite à partir des différentes étapes du processus de stockage identifiées précédemment. Le niveau de réversibilité le plus élevé correspond au déchet non encore conditionné. Le niveau de réversibilité le plus faible est la phase où le stockage est fermé et non surveillé ; seule la mémoire est conservée. Les niveaux de réversibilité décroissants liés au processus de fermeture traduisent une difficulté croissante pour revenir jusqu'au colis.

Cette échelle vise à faciliter les échanges avec les parties prenantes et permet de poser les bases du processus décisionnel associé à la gestion par étapes du processus de stockage (cf. § suivant), figurés par les jalons sur l'axe temporel en partie inférieure de l'échelle. L'Andra propose de développer cette échelle dans un cadre international.

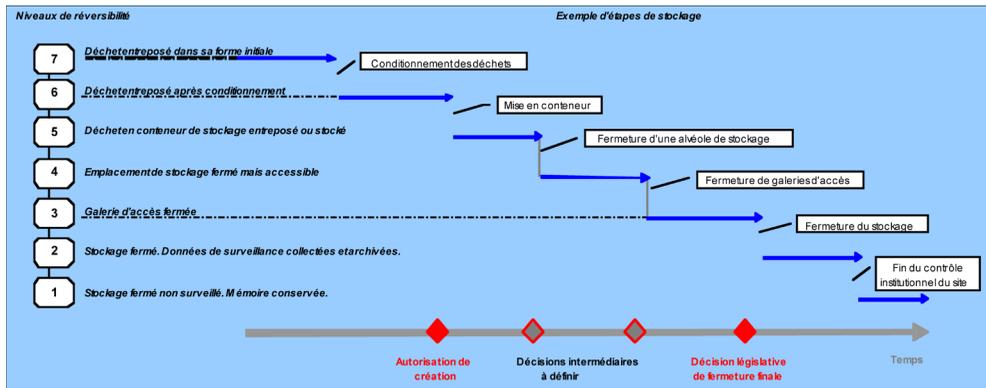


Fig. 1 - Projet d'échelle représentant les niveaux de réversibilité

Le processus décisionnel

Les différentes étapes de gestion du processus de stockage ont été décrites précédemment. L'Andra propose d'associer la réflexion concernant le processus décisionnel à la définition de l'échelle de la réversibilité : la décision de franchir une nouvelle étape se traduit par un changement de niveau dans l'échelle de réversibilité. Pour certaines étapes, les modalités de franchissement de l'étape sont déjà définies réglementairement, comme présenté ci-après. Pour d'autres, il convient de définir les modalités de la prise de décision (décision de fermer une première alvéole-témoin instrumentée pour l'observer, décision de fermer « définitivement » une alvéole ou un module d'alvéole, décision de remblayer et sceller un module).

La décision de conditionner les déchets existants

L'article 7 de la loi du 28 juin 2006 demande aux propriétaires de déchets de moyenne activité à vie longue produits avant 2015 de les conditionner au plus tard en 2030. En tant que futur exploitant du centre de stockage, l'Andra est régulièrement sollicitée par les autorités administratives compétentes pour fournir un avis sur les spécifications pour le conditionnement des déchets. L'Andra effectue également des contrôles chez les producteurs pour s'assurer que les colis de déchets sont produits conformément aux procédés décrits par les producteurs dans les dossiers de connaissances fournis à l'Andra.

La décision d'autoriser la création du stockage

L'article 12 de la loi du 28 juin définit précisément les modalités d'autorisation de création du centre de stockage :

« Un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs est une installation nucléaire de base.

Par dérogation aux règles applicables aux autres installations nucléaires de base :

- la demande d'autorisation de création doit concerner une couche géologique ayant fait l'objet d'études au moyen d'un laboratoire souterrain ;
- le dépôt de la demande d'autorisation de création du centre est précédé d'un débat public au sens de l'article L. 121-1 sur la base d'un dossier réalisé par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs créée à l'article L. 542-12 ;
- la demande d'autorisation de création du centre donne lieu à un rapport de la commission nationale mentionnée à l'article L. 542-3, à un avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et au recueil de l'avis des collectivités territoriales situées en tout ou partie dans une zone de consultation définie par décret ;
- la demande est transmise, accompagnée du compte rendu du débat public, du rapport de la commission nationale mentionnée à l'article L. 542-3 et de l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire, à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, qui l'évalue et rend compte de ses travaux aux commissions compétentes de l'Assemblée nationale et du Sénat ;
- le Gouvernement présente ensuite un projet de loi fixant les conditions de réversibilité. Après promulgation de cette loi, l'autorisation de création du centre peut être délivrée par décret en Conseil d'État, pris après enquête publique ;
- l'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs ne garantissant pas la réversibilité de ce centre dans les conditions prévues par cette loi ne peut être délivrée [...] ».

Le décret d'autorisation de création fixe la périodicité des réexamens de sûreté, qui est généralement de dix ans. Cette périodicité permet un jalonnement régulier et récurrent de la phase séculaire d'exploitation du stockage.

La décision de mettre en service le stockage

L'Autorité de sûreté nucléaire est compétente pour autoriser la mise en service des installations nucléaires de base (article 3 de la loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire).

La décision de stocker de nouvelles familles de colis

Le modèle d'inventaire du Dossier 2005 définit plus de trente familles différentes de colis primaires. Certaines familles correspondent à des colis déjà produits ou en cours de production ; certaines familles décrivent des colis futurs, non encore produits. Chaque famille de colis fera l'objet d'un agrément spécifique avant prise en charge dans le stockage.

En fonction de leurs caractéristiques, ces familles peuvent être regroupées ou non dans un même type d'alvéole. Dans l'hypothèse d'une exploitation successive des alvéoles, l'exploitant pourrait être amené à travailler par « campagnes » ; chaque campagne correspondant au remplissage d'une (ou quelques) alvéole(s) avec des colis de la (ou des) famille(s) correspondante(s). L'Andra examine ces chroniques de mise en stockage en lien avec les producteurs de déchets.

La décision de transférer un colis d'un entreposage vers son alvéole de stockage résulte donc d'une gestion planifiée de la construction de nouvelles alvéoles et de l'agrément autorisant la mise en stockage.

La décision d'arrêt définitif et le passage en phase de surveillance du stockage

L'article 29-VI de la loi du 13 juin 2006 prévoit que l'arrêt définitif et le passage en phase de surveillance d'une installation de stockage des déchets radioactifs sont subordonnés à une autorisation délivrée par décret. La demande d'autorisation de mise à l'arrêt définitif et le passage en phase de surveillance de l'installation sont soumis aux consultations et aux enquêtes applicables aux demandes d'autorisation de création (article 44-I du décret du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base).

La décision d'autoriser la fermeture définitive du stockage

L'article 12 de la loi du 28 juin 2006 précise que seule une loi peut autoriser la fermeture définitive du centre de stockage.

Conclusion

Le projet d'échelle de la réversibilité décrit les différentes étapes de gestion des déchets radioactifs et permet de proposer des jalons décisionnels correspondant à ces différentes étapes. Les étapes majeures de la vie du stockage (décision de création, décision de fermeture) font déjà l'objet de jalons décisionnels, comme l'illustre le processus d'autorisation de création décrit dans la loi du 28 juin 2006. Dans la perspective de la future loi qui fixera les modalités de la réversibilité, il est important de consolider la réflexion présentée par des échanges avec les parties prenantes pour valider les étapes importantes et les niveaux décisionnels associés.

La gestion réversible du stockage ouvre la possibilité d'un processus différé de fermeture. Il conviendra de s'interroger sur les conséquences éventuelles de l'« indécision », développé dans la présentation n°8 - *Implications de la mise en œuvre de la réversibilité*. Un tel scénario retarderait l'évolution vers un stockage à sûreté plus « passive » et induirait des coûts de surveillance et de maintenance supplémentaires pour l'exploitant. On peut également penser que la périodicité des réexamens de sûreté (envisagés tous les dix ans) donnera l'occasion de réévaluer régulièrement la nécessité de modifier le niveau de réversibilité de tout ou partie de l'installation. Ce jalonnement régulier peut également être un moyen de gérer par « itérations » successives la période séculaire d'exploitation, qui est particulière au projet et qui peut être difficile à appréhender.

Discussion

Loïc BLONDIAUX

Université Paris I Panthéon-Sorbonne

Il faut que je me présente parce que je crois que peu de gens parmi vous me connaissent. Je suis professeur de sciences politiques. Je m'intéresse aux questions de participation et de débat public en général et depuis assez longtemps, mais sous l'angle de la sociologie politique, voire de la théorie politique.

Je commencerai par vous soumettre mon interrogation en forme de malaise parce que j'ai le sentiment que la valeur ajoutée de ma présence ici tient au fait de mon absolue extériorité, à la fois au domaine du nucléaire mais aussi aux questions qui vous intéressent. Et donc, du coup, je vais jouer, le plus sincèrement possible, le rôle du candide, du huron, de l'outsider absolu.

Simplement, je vais vous ouvrir en vous renvoyant une question : pourquoi les sciences sociales sont-elles ici ? Pourquoi ressentez-vous le besoin de discuter avec des chercheurs en sciences sociales ? Ce n'était pas du tout explicite dans le rendez-vous, ce qui faisait une partie de son charme et de son mystère, c'est pour ça que je suis venu. Parce que je sais que pour les ingénieurs, en général, les sciences sociales peuvent servir à deux choses : la première, c'est de contrôler l'avenir, de l'anticiper, de préparer, de les aider à maîtriser l'épreuve de la réalité sociale. Ou elle peut leur servir aussi, et d'une autre manière, à jouer une sorte de substitut de la société, de porte-parole. C'est-à-dire que nous saurions le social parce que nous sommes les sciences sociales. Je ne suis prêt à jouer aucun de ces deux rôles maintenant. C'est-à-dire que je ne peux pas les jouer, je n'ai pas les moyens de les jouer.

Je vais vous dire quelques mots sur la manière dont, me semble-t-il, le travail que vous êtes en train de faire se positionne par rapport à ce que je sais du débat public. D'abord une remarque très générale et un peu brutale. Le débat public, c'est la rencontre avec des publics, c'est l'épreuve de différents types de public, et j'ai le sentiment qu'en formulant les questions telles qu'elles sont formulées ici, entre spécialistes, vous allez passer à côté de ces différents publics.

Si l'on caricature, le premier de ces publics, c'est le grand public, le public profane, en sachant qu'il y a une ambiguïté sur ce terme. Ce public-là ne peut être que saisi par l'ésotérisme de votre vocabulaire, ne peut être que paralysé par la complexité des enjeux soulevés et il y a toute chance pour qu'il ressorte d'un débat comme celui-là, totalement paniqué. C'est-à-dire que l'envie que vous avez de faire prévaloir la gestion définitive, le stockage définitif, c'est-à-dire l'enfouissement au plus profond des déchets nucléaires peut avoir l'effet inverse de ce que vous pensez, c'est-à-dire peut être totalement anxiogène : « Pourquoi veulent-ils avec autant de force s'en débarrasser ? » Et « pourquoi donnent-ils le sentiment que la seule forme de sûreté possible, c'est de les voir enterrés si profond ? » L'échelle de la réversibilité a également une portée symbolique considérable : plus on descendra bas dans cette échelle, semble-t-on dire, plus les choses s'arrangeront. L'irréversible étant l'idéal. On peut avoir le sentiment

très fort, vu de l'extérieur, qu'il y a un terminus absolument inéluctable, que l'on est dans une histoire qui de toute façon devra mener là, plus ou moins rapidement, mais que le plus vite sera le mieux. C'est vraiment ce qui transparaît de tous les documents que j'ai été amené à lire et de toutes les discussions. C'est une vraie difficulté. Le débat semble déjà refermé.

L'autre public susceptible d'être touché auquel vous allez avoir affaire, en tant qu'Andra, c'est effectivement le public des profanes épistémologiques - selon une expression de Sezin Topcu - ceux qui ne sont profanes que dans le regard des experts officiels mais qui ont une revendication de maîtrise des enjeux techniques et scientifiques de l'objet considéré. Et ceux-là, je ne les vois absolument pas apparaître dans votre historique. Il y a quand même eu un débat public, il y a quand même eu, dans ce débat public, l'apport de ces acteurs. N'ont-ils contribué en rien à la réflexion ? J'ai le sentiment tel que je vous écoute, tel que je vous lis, que le débat public n'a servi qu'à produire des contraintes supplémentaires, à produire de la complexité supplémentaire, mais n'a réussi, en aucun cas, à produire des éléments nouveaux, un apport positif. Ce public de contre-experts est, d'un certain point de vue, totalement oblitéré par la présentation que vous avez des choses. La question se pose alors : à quoi sert pour vous le débat public ? À quoi vous a-t-il servi ? À quoi peut-il vous servir ? Est-ce qu'il n'est qu'une sorte de paramètre supplémentaire, un peu bizarre, à intégrer dans vos recherches qui de toute façon doivent se faire et doivent se continuer ou est-ce que c'est autre chose ? La question de la place de ces acteurs-là, de ces profanes épistémologiques dans le débat public, à mon avis, elle va se poser.

La tentation semble très forte de continuer à revendiquer le monopole absolu des questions techniques. Comme si la dimension politique de l'objet devait une fois pour toutes vous échapper - nous l'acceptons mais elle nous échappe - mais dès qu'on revient sur la technique, c'est nous qui sommes les seuls détenteurs de la vérité. Ce qui pose un vrai problème, dès lors que des acteurs extérieurs contesteront l'idée, par exemple, d'une stabilité des schémas géologiques à long terme, etc., il faudra bien accepter cette contestation et y répondre. Je ne suis peut-être pas très clair, mais en tout cas c'est le sentiment que j'ai.

Deuxième problème qui m'est apparu et qui, dans la perspective d'un débat public, est vraiment problématique : qui défend, qui justifie le point de la vue de la réversibilité ? Est-ce que c'est à l'Andra de défendre l'argument de la nécessaire réversibilité ? Le premier exposé de ce matin montrait que cette présentation est biaisée par essence puisque ce n'est pas à vous de le faire. C'est à des acteurs politiques de défendre ce point de vue de la réversibilité. C'est au législateur de le faire. C'est aux acteurs politiques de le faire. Vous mettre, vous scientifiques, experts, dans la position de justifier politiquement un choix me semble lourd de dangers, sinon même une catastrophe annoncée.

Justifier politiquement un choix ne devrait pas vous revenir. Je me demande - pour avoir observé beaucoup de dispositifs de participation au débat public, c'est une situation extrêmement fréquente - comment on en est venu, d'un certain point de vue, à vous faire endosser cette nécessité de défendre la réversibilité, surtout que vous n'y croyez

pas vraiment, c'est un euphémisme. S'il faut, au cours du débat, que la position de la réversibilité soit endossée, il faut dès lors que des gens occupent clairement cette position et puissent se faire entendre, en tant que porteur d'un discours politique assumé comme tel. Il faut, au moment de la préparation du débat public, que les choix de principe soient clairement explicités, que les projections aussi, à la fois politiques, ça a été dit tout à l'heure, et scientifiques, soient également explicitées, endossées pour produire une délibération contradictoire, vraiment contradictoire. La délibération ne peut se faire qu'à partir du moment où des points de vue contradictoires sont endossés par des locuteurs différents, pas quand c'est le même acteur qui essaie de tout intégrer au risque de s'y perdre finalement.

Du coup, je vous transmets dans ce langage assez rudimentaire, mon inquiétude - je me mets plus dans le rôle de la commission nationale du débat public que dans le rôle de l'opérateur en l'occurrence - à l'idée que vous deviez, en tant qu'ingénieurs de l'Andra, défendre à la fois le stockage définitif et l'entreposage pérennisé. Cela me paraît être extrêmement problématique et jeter un doute, d'un certain point de vue, sur la sincérité de ce débat.

La réversibilité du point de vue économique

Louis LONDE

*Andra, responsable du pôle « Génie minier »
et correspondant transverse « coût » du projet HAVL*

Rodolphe RAFFARD

Andra, ingénieur « coût »

La réversibilité du stockage a-t-elle un coût économique ? Comment financer cet éventuel coût ? Telles sont les deux questions discutées ici. L'Andra n'a jamais abordé en profondeur ces deux questions. Aussi la réflexion qui suit vise-t-elle davantage à poser la problématique qu'à apporter des réponses précises.

Évaluation du coût économique de la réversibilité

État des lieux en matière d'évaluation économique de la réversibilité

Dans le cadre de la loi de programme du 28 juin 2006, l'Andra estime le coût du stockage profond réversible afin de fournir aux producteurs de déchets une base pour l'établissement de leurs provisions. Le coût du stockage a été évalué, en 2005, à environ 15 milliards d'euros (euros constants, hors actualisation et inflation). Ce coût inclut l'investissement, l'exploitation, et les frais divers (impôts, assurances, R&D, etc.). Le niveau d'incertitude de cette évaluation économique est important : il correspond à une étude de faisabilité.

L'Andra a conçu et chiffré un concept réversible. La réversibilité est donc prise en compte, mais la part du coût du stockage attribuable à la réversibilité n'est pas individualisée.

Partant du concept du Dossier 2005 et de son analyse économique, l'Andra a identifié et caractérisé des pistes d'optimisation en 2006 (travail conjoint avec les producteurs de déchets). La caractérisation de ces pistes d'optimisation a été réalisée au travers d'une analyse multicritère succincte. Les critères « réversibilité » et « économie » figurent dans les tableaux de synthèse de ce travail. Cependant, le critère « réversibilité » est rarement caractérisé : l'Andra et les producteurs, en 2006, ont globalement travaillé à réversibilité constante (avec un degré¹ de réversibilité toujours élevé). Cet exercice n'apporte *in fine* que peu d'éléments dans l'analyse du coût de la réversibilité.

En prolongement de cette réflexion, des « options de sûreté et de réversibilité » sont étudiées aujourd'hui par l'Andra. Les études portent sur divers aspects : sûreté, faisabilité technologique, coût. Ces options devront faire l'objet d'un choix en 2009. Parmi ces options, l'Andra distingue les références, les variantes et les pistes de

¹ Le « degré » de réversibilité désigne la capacité d'un concept à être réversible. À distinguer du « niveau » de réversibilité, qui caractérise, pour un concept donné, la position dans l'échelle de réversibilité. Le « niveau » de réversibilité est attaché à une phase de vie.

progrès (ces dernières ne seront qu'évoquées en 2009). Les critères qui guideront les choix de 2009 restent à définir de manière formelle, mais il ne fait aucun doute que parmi ces critères se trouveront la sûreté, la robustesse, le niveau de connaissance phénoménologique, le degré de réversibilité et le coût. Ces deux derniers critères traitent en partie la question du coût économique de la réversibilité, mais en partie seulement puisque toutes les options envisagées pour le moment restent d'un degré de réversibilité comparable.

La mise en œuvre d'une gestion réversible du stockage inclut la possibilité de faire évoluer le concept, de faire des choix d'option différents, en intégrant l'expérience acquise sur le début de l'exploitation du centre de stockage. Les options envisagées aujourd'hui comme variante ou piste de progrès pourront devenir références. La poursuite des études et des recherches pourrait également permettre d'identifier de nouvelles évolutions de concept. Ces évolutions, lorsqu'elles reposent sur un socle phénoménologique (par exemple une modification du critère thermique sur le milieu géologique) ne sont aujourd'hui pas étudiées sur le plan technologique, donc non chiffrées. Les seules évolutions pour lesquelles existe ou existera prochainement une estimation économique sont celles relevant de choix d'options purement technologiques (par exemple le choix d'alvéoles MA-VL avec empilement de colis sur un, deux ou davantage de niveaux). Le coût des évolutions éventuelles liées à la réversibilité n'a donc pas non plus été réellement évalué.

Pour une approche analytique du coût de la réversibilité

Le Dossier 2005 a défini trois grandes fonctionnalités issues de la réversibilité : la capacité de retrait des colis, la capacité d'actions sur le processus du stockage et la capacité d'évolution de la conception (voir présentation 2). Ces trois fonctionnalités ont un effet sur la conception et sur le mode d'exploitation du stockage, et pourraient à ce titre être évaluées d'un point de vue économique :

- la capacité à retirer les colis se traduit par l'introduction de composants particuliers : ceci a vraisemblablement un coût ;
- la capacité d'action sur le processus du stockage se traduit par une modularité de l'architecture, une durabilité, une maintenance et une observation des installations : là encore, un coût peut être associé ;
- enfin, la capacité d'évolution de la conception repose sur des modalités de gestion, notamment de la connaissance, permettant de prendre les bonnes décisions au bon moment : ceci, également, induit un coût².

Cette décomposition fonctionnelle n'est pas des plus adaptées pour évaluer un impact économique.

2 Les capacités d'actions sur le processus du stockage et d'évolution de la conception permettent cependant également d'intégrer des optimisations technico-économiques au cours de l'exploitation du stockage. Ceci pourrait amener un gain économique en contrepartie du coût de ces deux items.

Une autre décomposition est proposée dans ce qui suit. Cette alternative a le mérite de mieux s'intégrer dans la méthodologie d'évaluation du coût du stockage. Également articulée en trois termes, elle distingue le concept (quel est le coût d'un concept réversible?), l'exploitation (pour un concept réversible donné, combien coûte le fait d'exploiter le stockage en différant sa fermeture ?), et enfin le déclenchement effectif du retrait (quel est le coût associé à une opération de retrait des colis ?). Les deux premiers termes de cette décomposition couvrent les trois grandes fonctionnalités citées plus haut. Le troisième terme est nouveau.

La distinction entre concept et exploitation permet de traiter d'un côté ce qui relève de la réalisation initiale de l'ouvrage, c'est-à-dire de l'investissement (choix des composants et dimensionnement) et de l'autre la gestion proprement dite de l'exploitation réversible (frais de fonctionnement de l'ouvrage, maintenance, jouvence).

On pourra regretter que la thématique « concept réversible » ne soit pas indépendante de la thématique « exploitation réversible », puisque le coût du composant dépend nécessairement de son dimensionnement, et donc de la durée de la phase réversible. Cet inconvénient n'aurait pas été résolu par la décomposition par grandes fonctionnalités, bien au contraire (il aurait en effet fallu chiffrer des composants indépendamment de leur durabilité, chose *a priori* impossible).

Évaluation du coût d'un concept réversible

Évaluer le coût d'un concept réversible nécessite d'imaginer un concept non réversible et de comparer ses coûts à ceux du concept réversible de référence, toutes choses étant égales par ailleurs (conservation des autres exigences fonctionnelles, des hypothèses phénoménologiques et des inventaires de déchets). Un tel exercice n'a encore jamais été réalisé par l'Andra de manière exhaustive. Des évaluations rapides ont certes été menées, sous une forme plus qualitative que quantitative. Estimer précisément le coût d'un concept réversible requiert une attention particulière tant les options retenues aujourd'hui sont imprégnées d'exigences issues de la réversibilité.

Pour aller plus loin, il conviendra d'évaluer si la réversibilité justifie la présence de chaque composant du stockage, et si elle conditionne leur conception de détail ou leur dimensionnement. La figure 1 présente l'architecture souterraine (concept du Dossier 2005) et pointe, à titre d'exemples, trois aspects du concept reliés à la réversibilité :

- la conception d'une galerie ;
- la modularité de l'architecture ;
- la conception de l'alvéole HA.

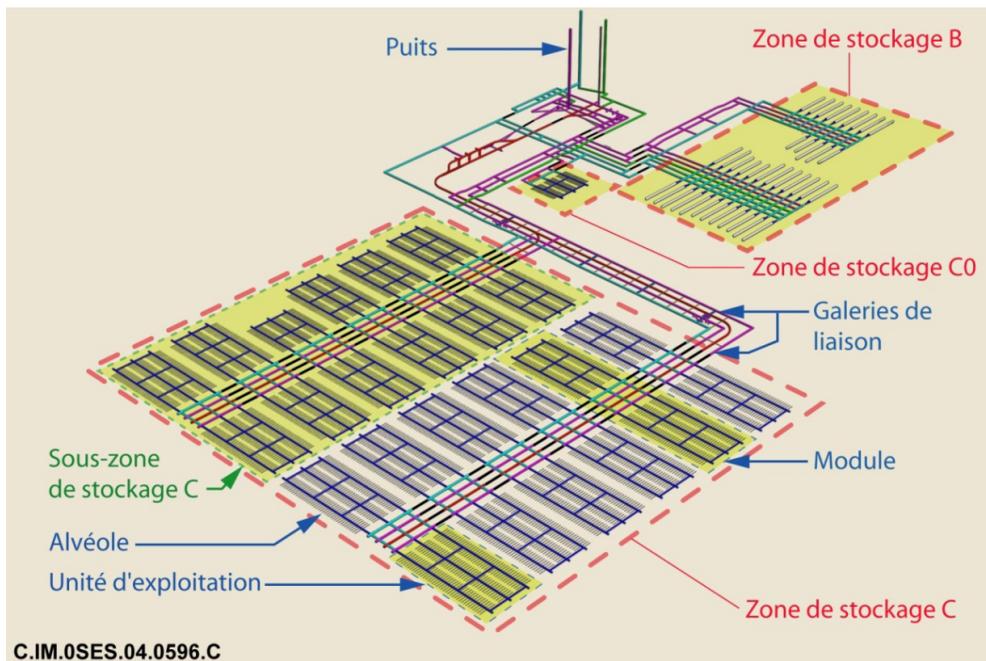


Fig. 1 - Architecture souterraine et exemples d'ouvrages en partie conçus pour satisfaire la réversibilité

Ces trois exemples sont discutés ci-après. Cette discussion illustre la difficulté de distinguer ce qui relève strictement de la réversibilité de ce qui serait requis par un stockage non réversible.

Exemple 1 :

Les galeries du stockage sont creusées dans une roche qui a tendance à se déformer au cours du temps. Afin de maintenir la géométrie des galeries et de garantir la sécurité du personnel, une coque de béton est mise en place contre le terrain. L'épaisseur de ce composant est dimensionnée pour une durée de vie de l'ordre de cent ans, voire davantage si la réversibilité le requiert. Pour certaines de ces galeries, l'exigence de réversibilité aura un impact net, car elle imposera une durée de vie séculaire à un ouvrage dont la durée de vie aurait pu se limiter à quelques mois en l'absence de cette exigence. C'est le cas des ouvrages les plus proches des alvéoles (galeries d'accès), qui pourraient n'être utilisés que peu de temps avant d'être fermés en l'absence de réversibilité. En revanche, pour la plupart des galeries de liaison, et notamment pour celles qui sont éloignées des alvéoles de stockage, une durée de vie pluridécennale est nécessaire, indépendamment de toute exigence de réversibilité. En outre, le chargement mécanique, qui provient de la poussée des terrains et qui conditionne l'épaisseur du béton de revêtement de l'ouvrage, ralentit avec le temps. De ce fait, les épaisseurs de béton requises pour des ouvrages dont les durées de vie sont de soixante et de cent ans seront relativement voisines. Ainsi, pour ces galeries, dimensionner le revêtement pour une utilisation « normale » de quelques décennies ou pour un siècle aura une incidence limitée (mais non nulle) sur le coût d'investissement.

Exemple 2 :

La modularité consiste à découper l'architecture en petites entités indépendantes, et cela à divers niveaux, de la plus petite entité (l'alvéole) à la plus grande (la zone de stockage) en passant par des niveaux intermédiaires (le module, la sous-zone). Cette modularité a un coût car elle contribue à l'augmentation du linéaire de galeries et à l'augmentation du nombre de scellements. Là encore, il conviendra de distinguer ce qui, dans la modularité, relève strictement de la réversibilité de ce qui est requis par diverses contraintes convergentes³ (réversibilité, sûreté, optimisation de l'exploitation). La réversibilité pourra par exemple être invoquée pour réduire la taille des alvéoles ou des modules (flexibilité du processus décisionnel). Ainsi les modules, dont l'existence favorise la sûreté à long terme (limitation de l'impact radiologique en cas de défaillance) et l'exploitation (fermeture progressive, limitant ainsi les coûts de maintenance), auront une capacité dimensionnée par la plus exigeante des trois contraintes que sont la réversibilité, la sûreté à long terme et l'optimisation économique.

La contribution de la réversibilité est donc particulièrement difficile à quantifier dans le cas de la modularité.

Exemple 3 :

Les alvéoles HA sont constituées d'un chemisage métallique dans lequel sont introduits les colis (figure 2).

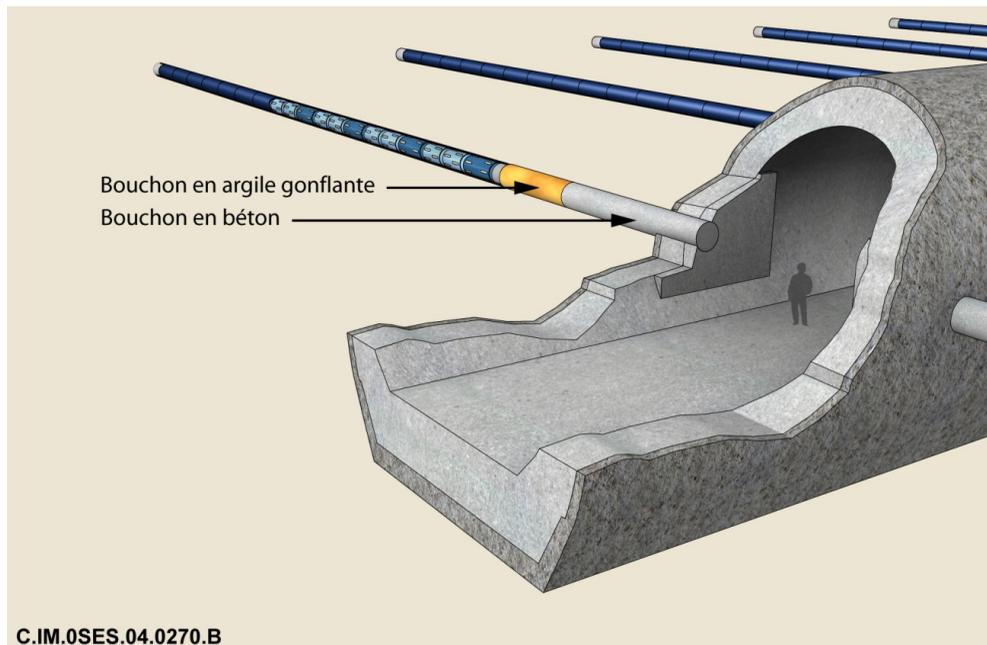


Fig. 2 - Concept d'alvéole HA (alvéoles représentée ici après fermeture)

³ On citera à titre d'exemple le stockage de déchets nucléaires du WIPP (Nouveau-Mexique, États-Unis), concept irréversible du fait de son environnement géologique (sel se fermant sur lui-même), et pourtant modulaire.

Comme dans les deux exemples ci-dessus, la contribution de la réversibilité est ici difficile à évaluer. En effet, le caractère indispensable du chemisage métallique, en l'absence de réversibilité, mérite un débat (le chemisage est-il nécessaire à la seule introduction des colis, compte tenu de l'horizontalité de l'alvéole, ou n'est-il justifié que par un retrait ultérieur des colis ?). Par ailleurs, la conception du chemisage pourrait vraisemblablement être révisée pour un concept non réversible, mais dans des limites à définir. Ainsi, peut-on revoir le mode de connexion entre éléments de tube (conception) et l'épaisseur d'acier (dimensionnement) dans l'éventualité d'une gestion irréversible ?

Un effort de conception doit par conséquent être fourni en amont de toute évaluation économique, afin de définir un concept non réversible.

Évaluation de l'impact économique de la réversibilité sur le mode d'exploitation

Évaluer l'**impact économique de la réversibilité sur le mode d'exploitation** relève de l'analyse du cycle de vie des installations. Cela consiste à faire varier les hypothèses de gestion des ouvrages (dates de déséquipement et de scellement des alvéoles, de remblaiement et de scellement des galeries et des puits, hypothèses de maintenance des ouvrages en phase d'attente de fermeture, etc.), et à en évaluer l'impact financier *via* le chronogramme des dépenses. Par ailleurs, se donner les moyens d'une exploitation réversible peut générer des coûts induits comme la construction et l'entretien d'installations d'entreposage supplémentaires. Autre exemple de coûts induits : une exploitation réversible, en différant le remblaiement des galeries, oblige à stocker en surface une quantité importante de déblais de creusement⁴ (plusieurs millions de m³).

L'analyse, pour être complète, devra faire intervenir l'actualisation des coûts. En effet, prolonger la réversibilité retarde certains coûts (scellement, remblaiement), ce qui peut présenter un intérêt financier dans une approche complète intégrant l'actualisation des coûts d'investissement. Des effets antagonistes peuvent donc apparaître entre prolongement des coûts d'exploitation (notamment maintenance des équipements) et report des coûts de fermeture.

Rappel : la réversibilité s'entend ici comme limitée à l'impact des décisions relatives au calendrier de fermeture. Les notions de modularité, de durabilité, de type de maintenance, etc., sont à traiter dans le point précédent, dit de concept.

Évaluation du coût d'une opération de retrait des colis

Évaluer le **coût d'une opération de retrait** des colis passe également par l'établissement d'un jeu d'hypothèses : il faudra déterminer les colis concernés, les flux requis, le degré de fermeture des ouvrages lorsque survient le déclenchement du retrait, le mode de gestion de la coactivité entre retrait, travaux et stockage, et enfin le mode de gestion des colis retirés (contrôles, entreposage, évacuation). En fonction de ces hypothèses, des investissements spécifiques pourront être requis (équipements de manutention

⁴ Les galeries sont remblayées, à terme, en réutilisant les déblais de creusement ; retarder le remblaiement conduit donc à accumuler ces déblais en surface.

additionnels, réalisation d'une nouvelle liaison surface-fond, construction d'unités d'entreposage ou de réexpédition, etc.).

Une suggestion d'approche « ingénierie systèmes » : l'analyse de la valeur

Évaluer le coût économique de la réversibilité est donc un processus complexe, faisant appel à un vaste jeu d'hypothèses paramétriques. L'évaluation n'est pas binaire dans la mesure où l'on ne saurait définir un stockage totalement irréversible, pas plus que l'on ne saurait définir une réversibilité totale compatible avec la sûreté à long terme.

À l'évidence, la notion de « degré de réversibilité » est intimement liée au processus d'évaluation économique.

Ceci incite à aborder le coût économique de la réversibilité par une approche du type analyse de la valeur. Il s'agit de dresser une matrice reliant les composants du stockage (l'intégration des modes d'exploitation mérite réflexion) et les niveaux de réversibilité. Il est vraisemblablement possible de chiffrer la contribution des différents degrés de réversibilité dans le coût des divers composants. Ceci peut alors être utilisé pour prendre des décisions en matière de conception (et d'exploitation ?).

Financement de la réversibilité

Pour chacun des aspects du coût de la réversibilité, la question du financement peut être abordée. Le financement du stockage en lui-même est assuré par la constitution de provisions au bilan des producteurs de déchets en application du principe « pollueur-payeur ». Ces provisions sont constituées d'actifs dédiés dont la nature est encadrée par la loi.

Le **financement de la réversibilité du concept** est *de facto* couvert par le financement du stockage tel que défini aujourd'hui. Cet aspect de la réversibilité est imposé aux producteurs de déchets. Les incertitudes sur les provisions à passer reflètent les incertitudes sur les techniques à mettre en œuvre pour satisfaire à la réversibilité des concepts et de l'exploitation. En particulier, l'incertitude sur la durée de la phase de réversibilité conduit à une incertitude sur les dimensionnements des différents composants du stockage.

Le financement de l'exploitation réversible s'entend de la même façon que le financement de la réversibilité du concept. C'est un aspect intrinsèque au stockage qui est imposé aux producteurs de déchets. Une question supplémentaire peut cependant se greffer sur cet aspect. L'exploitation réversible s'entend aussi comme la possibilité de faire évoluer la conception au fur et à mesure de l'exploitation. Cela permettrait notamment de tenir compte du progrès technique dans la conception des futurs ouvrages. Comment tenir compte aujourd'hui de cette possibilité de progrès dans le financement du stockage ?

Le **financement de la mise en œuvre de la récupération des colis** renvoie à la motivation de la décision de procéder au retrait des colis. Si cette décision repose sur un objectif de valorisation des matières, le gain économique attendu doit-il couvrir les frais de déstockage ? Dans le cas où cette décision est une imposition sociétale, sur qui doit reposer son coût et doit-on la financer dès aujourd'hui ? La réversibilité du concept repose sur une conception et des dimensionnements techniques adaptés. La réversibilité de l'exploitation du stockage nécessite le maintien en conditions opérationnelles des composants (équipements, capacité d'entreposage, etc.) nécessaires à l'éventuelle mise en œuvre de la réversibilité. Mais le retrait des colis ne peut être garanti que si son coût est financé. Comment traduire cette nécessité de financement aujourd'hui ?

En guise de conclusion

Évaluer le coût économique de la réversibilité requiert un effort plus ou moins grand selon la nature du coût cherché.

Ainsi, estimer le coût d'une mise en œuvre du retrait des colis est relativement aisé (moyennant quelques hypothèses sur ce retrait, notamment sa date, son rythme et le devenir des colis retirés). Un tel exercice a d'ailleurs été mené en 2006 de manière succincte.

Évaluer le coût de l'exploitation réversible est également facile. Il s'agit essentiellement de faire varier des durées de maintenance pour lesquelles les coûts unitaires sont connus, et éventuellement d'intégrer des frais financiers liés au report de certains frais de fermeture. Là encore, des hypothèses sont évidemment nécessaires.

En revanche, évaluer le coût de ce qui, dans le concept, relève de la réversibilité, exige un travail de fond. Il s'agit d'identifier ce qui découle strictement de la réversibilité de ce qui est requis par d'autres contraintes. Ce travail n'a pas été fait de manière exhaustive et détaillée.

S'il paraît difficile de calculer un coût de la réversibilité dans l'absolu, l'analyse économique peut être un outil de support décisionnel pour choisir entre deux scénarios possibles de gestion de la réversibilité.

J'ai bien compris, et nous avons tous bien compris que la question de la réversibilité est une question centrale pour l'Andra sur laquelle il nous faut travailler. Simultanément, nous savons également que la contrainte de la réversibilité est imposée par la loi. Je pense que nous pouvons toutefois relativiser un peu ce dernier point, et j'avoue que je suis assez d'accord avec ce qui a été dit auparavant : l'Andra n'a pas à justifier ou à invalider la pertinence de la réversibilité ou des techniques irréversibles. En revanche, en nous associant dans la réflexion, nous avons un rôle à jouer dans l'aide à la décision. Et c'est peut-être comme ça qu'il faut considérer les échanges entre ingénieurs de l'Andra et chercheurs en SHS. Il y a des choses à dire et vous en avez dites beaucoup, même si vous avez commencé votre présentation en vous demandant à quoi cela pouvait servir d'évaluer les coûts de la réversibilité si la réversibilité vous est imposée *de facto*. Évaluer les coûts prend du temps et coûte...

Dans votre note, la question du coût de la réversibilité ressort. Vous donnez plusieurs éléments intéressants sur ces coûts et vous posez la question de savoir quelle est la réversibilité qu'on doit considérer. Quels sont également les coûts qui doivent être considérés ? Une autre grande question que vous vous posez : si on va vers l'évaluation des coûts, comment peut-on individualiser le coût de la réversibilité en tenant compte des trois caractéristiques, que ce soit celles que vous détaillez dans votre note ou celles qui sont plus standard ? Ce sont là les principales questions posées.

Pardon, si je provoque un peu aussi, j'avoue que je n'ai pas entendu le mot « bénéfice » de la réversibilité et lorsqu'à un moment ou un autre, on nous demande de faire de l'aide à la décision, on ne peut pas ignorer cette dimension de la problématique. Il ne s'agit pas de dire « j'aime ou je n'aime pas », mais il s'agit de dire effectivement « combien ça coûte ». Ça me paraît incomplet de ne pas mettre les bénéfices en face. Cela ne veut pas dire que le travail de l'Andra est incomplet. Mais cela veut dire que, du côté de l'Andra, les préoccupations concernent essentiellement les coûts ; je ne sais plus si c'est dans votre présentation ou dans une autre note que l'on peut lire ou entendre la question : « Qui doit prendre en charge tous ces coûts-là ? Est-ce l'Andra ? ». En marge de cette question, une autre peut alors être posée : « Qui va bénéficier de la réversibilité ? » s'il y a des bénéfices à la réversibilité, on est d'accord. Sans doute pas l'Andra, en tout cas pas à court terme ; ce sont les générations futures qui pourraient en bénéficier si jamais on peut exercer les options et réutiliser certains colis.

Mais, pour l'analyse économique, il faut mettre les bénéfices en face des coûts, sinon l'évaluation n'est pas correcte.

Concernant les bénéfices, nous savons qu'il est très difficile de les évaluer, compte tenu de l'incertitude scientifique qui prévaut quant à la valorisation future possible des colis notamment. Ici, on a également du mal à évaluer les coûts de la réversibilité. On a du mal à isoler la réversibilité parce qu'il y a des caractéristiques des techniques propres

à la problématique de la réversibilité ou (de l'irréversibilité) et d'autres qui relèvent de la question de la sûreté. On retrouve finalement ici les obstacles à une analyse coût-bénéfice classique relevés par l'analyse économique : ceux liés à la définition des fonctions de coûts et de bénéfices de la réversibilité. Ceci est mon premier point.

Mon second point est une question de vocabulaire. Elle a déjà été soulevée ce matin. Réversibilité, flexibilité, entreposage, stockage ont tous une signification propre, mais sont utilisés diversement dans les approches de la journée. Concernant plus particulièrement la réversibilité, cette disposition, ou l'utilisation de techniques allant dans son sens, est considérée comme un surcoût pour l'Andra.

Pour l'économie, la réversibilité est souvent considérée comme un bénéfice. Il y a cette fameuse théorie de la valeur d'option qui dit que, si un système est potentiellement réversible, il crée une certaine valeur d'option : l'option de revenir en arrière ou, ici, de réutiliser les colis stockés pour les générations futures. Ne serait-ce que sur ce concept de réversibilité, nous n'avons pas forcément la même approche, ce qui ne veut pas dire qu'elles sont incohérentes. Nous nous intéressons au même objet, mais nous arrivons de directions différentes et nous amenons chacun (ingénieurs, économistes, sociologues, etc.) nos propres questions, problématiques et outils.

Concernant le terme « flexibilité » dont on a un peu moins parlé (mais il est également présent dans les textes), elle génère essentiellement un coût pour l'Andra, alors qu'elle est également porteuse de bénéfices pour l'économiste. C'est ainsi un autre point qui, à mon sens, a besoin d'être rediscuté avant même d'aller vers une quelconque évaluation des coûts financiers ou économiques.

Le troisième point important que j'aimerais évoquer tient à la possibilité d'acquérir de nouvelles informations sur les nouvelles technologies. Elle peut concerner soit la possibilité de réutiliser certains colis parce que de nouvelles utilisations des déchets ont été découvertes par exemple, soit, comme cela a été dit dans certaines présentations ou écrit dans certaines notes, pour moduler ou faire évoluer la gestion de l'entreposage pendant la période d'exploitation. Ces arrivées d'informations nouvelles créent également des valeurs d'option. Et ce bénéfice potentiel est bien considéré comme tel par l'Andra. Pour l'économiste, ce bénéfice existe également, mais la « résolution » de l'incertitude peut également être coûteuse : une arrivée de nouvelles informations (ce point est un peu plus technique) peut générer plus d'incertitudes sur certaines techniques qu'on en avait avant. De manière moins technique, ceci reviendrait à avoir moins de certitude quant aux coûts et bénéfices attendus d'une certaine technologie qu'on en avait au départ. Certaines (quasi-) certitudes peuvent par exemple voler en éclats lorsque la science « avance ».

Au regard de ce que j'ai pu dire jusque-là, l'économiste peut contribuer à l'avancée de la réflexion sur les coûts et les bénéfices attendus de la réversibilité car, même si la réversibilité est imposée, il me semble qu'il y ait des marges de manœuvre. La loi ne me semble pas très précise. Elle ne parle pas du tout de niveaux de réversibilité ou de flexibilité. Il y a donc des marges de manœuvre pour l'Andra. Et ces marges de manœuvre relatives à l'utilisation de techniques réversibles dépendent étroitement de la

manière dont les différentes étapes du stockage et de l'entreposage sont considérées. À la lecture des différentes notes, il n'existe pas un unique découpage. Et vous-même en proposez un, différent du découpage classique et que j'apprécie particulièrement en tant qu'économiste.

Il est constitué de trois niveaux différents. Au départ, tout ce qui touche au concept et à l'exploitation relève d'une décision d'investissement initial. Les deux autres étapes font chacune apparaître des valeurs d'option. Je vois ainsi l'évaluation des coûts et des bénéfices d'une technique ou de plusieurs techniques différentes d'enfouissement comme un scénario dans lequel on a un investissement certain au départ pour une technique donnée, puis deux valeurs d'option. Concernant le nucléaire, nous avons l'habitude de travailler avec une seule valeur d'option, celle relative à la réutilisation des colis par les générations futures. Ici, vous en faites apparaître une deuxième, relative cette fois à l'évolution de la gestion du site indépendamment du retrait des colis à la fin.

Mon avant-dernier point portera rapidement sur les techniques d'évaluation des coûts et des bénéfices. Il en existe plusieurs dans le domaine économique et financier. Le travail de thèse que vient de démarrer Oana en partenariat avec l'Andra porte sur cette question de l'évaluation. Mais, avant de parler d'évaluation, plusieurs points devront être éclaircis, avec l'aide des ingénieurs de l'Andra. Qu'est-ce qui est techniquement faisable en matière de réversibilité ? La réversibilité absolue est-elle pertinente ? Doit-on discuter de la période de temps ? Ce matin, j'ai souvent entendu dire « c'est cent ans ». Or, dans les textes, il est écrit que cent ans semblaient un peu courts (pour le législateur en tout cas). Or, selon la période de temps, vous n'allez pas actualiser les bénéfices et les coûts de la même manière. Certaines études vous disent par exemple qu'au-delà de trente ans, le taux d'actualisation pour les coûts et les bénéfices devrait diminuer parce qu'on tient compte des incertitudes sur les générations futures. Et tout ce qui relève de l'exploitation entre zéro et trente ans devrait être actualisé à l'aide d'un taux plus élevé. Ceci n'est qu'un commentaire permettant d'évoquer la complexité de l'actualisation, mais ne peut, à ce stade, être considéré comme la solution à retenir bien sûr.

En marge de cette question importante de la maturité du projet, une autre se pose : est-ce que l'objectif est de choisir entre différents scénarios imposés sachant que la réversibilité doit faire partie de ces scénarios mais que vous avez les moyens de jouer sur les différents niveaux de réversibilité ? Ou est-ce que l'objectif consiste à s'affranchir de l'écriture de scénarios et de trouver alors le meilleur ? Dans le premier cas, certaines choses relèvent de l'arbitraire et, même si l'on choisit le meilleur scénario parmi une liste prédéfinie, nous ne sommes pas certains d'avoir sélectionné un « bon » scénario. Mais l'avantage de la démarche est d'être simple et réalisable. La seconde approche est préférée des économistes (de certains) parce qu'elle ne contraint pas l'ensemble des scénarios possibles. L'objectif est alors de chercher un schéma optimal des dates sur l'échelle que vous avez construite. L'inconvénient de cette démarche est qu'elle est complexe et peut-être irréalisable du seul point de vue de l'ingénierie. Selon l'approche retenue, les techniques envisageables d'évaluation des coûts et des bénéfices ne sont pas les mêmes. Mais ma question n'est peut-être pas pertinente.

Mon dernier point, enfin, concerne des coûts de la réversibilité qui n'en sont pas réellement. Si l'on comprend aisément que la question de la réversibilité pose aussi celle de l'arbitrage à faire (ou à ne pas faire) entre sûreté et flexibilité, il me semble, en vous écoutant, que certaines contraintes sont communes aux deux propriétés. Vous avez par exemple cité l'exemple du « tube » en disant que vous en auriez de toute façon besoin. Il y a finalement des coûts qui ne sont pas complètement imputables à la réversibilité et qui ne peuvent donc, à mon sens, être considérés comme un frein à l'adoption de techniques de stockage/entreposage ou de gestion de sites dits réversibles.

Pierre-Benoît JOLY

J'ai été très intéressé par les exposés sur les dimensions économiques. Les deux exposés sont fort complémentaires. Il me semble, effectivement, que l'idée de travailler sur les modèles séquentiels à valeur d'option est vraiment la bonne idée. Mais cela veut dire qu'on prend au sérieux le fait qu'il y ait des alternatives et que tous les chemins ne mènent pas à Rome, qu'il n'y ait pas simplement une issue mais que l'on travaille effectivement sur les alternatives. C'est un point fondamental et dont on ne tire pas encore toutes les implications.

C'est peut-être le sens commun, mais j'ai senti qu'il y a un décalage très fort entre le titre de l'exposé : « La réversibilité du point de vue économique » et ce qu'on en fait : « L'évaluation des coûts de la réversibilité ». Ces deux sujets sont très différents. Analyser « la réversibilité du point de vue économique » implique de considérer comment des alternatives sont accessibles et à quel coût. Il faut alors intégrer de façon explicite le profil temporel des engagements. Supposons que tous les investissements sont faits sur des actifs spécifiques. Cette hypothèse doit être discutée mais *a priori*, je ne vois pas ce qu'on va faire de centaines de kilomètres de galeries à 500 mètres de profondeur, quel usage alternatif on peut en faire ; pour les installations de surface, c'est peut-être différent, mais pour la verse, etc., on peut éventuellement prévoir des parcs d'attraction, etc. Mais quand même... On va avoir dans ce projet un engagement irréversible, en début de projet, qui sera très important. La mise en œuvre d'options alternatives - bien que possibles techniquement - est alors limitée par une contrainte budgétaire énorme parce que les coûts engagés sont irréversibles.

Je n'ai pas vu cette dimension dans l'exposé, or elle me semble essentielle et accessible au sens commun. Je pense que dès qu'on va mettre la réversibilité en débat, c'est la question qui va être posée. Il faudrait donc explorer la façon dont on peut jouer sur ce profil temporel d'engagement des dépenses. Tel que je comprends le projet, il y a peu de marge, mais c'est quand même une question qu'il faut poser.

Manuel ZACKLAD

Il y a deux points sur lesquels je voulais réagir. Le premier est un point de sémantique. Quand certains intervenants parlent de conception, ce n'est pas exactement avec la même acception que celle que j'ai pu utiliser précédemment. Quand je parle « conception », cela ne désigne pas la fabrication des pièces ou le produit résultant. C'est la démarche qui nous amène progressivement à élaborer des plans qui guideront ultérieurement la construction. Quand je parlais de traçabilité permettant la réversibilité durant la démarche de conception, c'était pour insister sur le fait que les débats techniques qui sont engagés dès maintenant doivent être tracés pour qu'on puisse revenir sur les options de conception. La problématique d'un potentiel de réversibilité intégré au produit matériel (démontage) est différente et résulte des options de conceptions choisies. Les deux problématiques sont interdépendantes mais ne se recouvrent pas.

Sinon, à la question « l'Andra doit-elle ou non s'emparer de la question de la réversibilité ? », j'aurais tendance à répondre favorablement. La réversibilité est un objet frontière, comme le disent les sociologues des sciences. Il est normal que chacune des parties prenantes donne sa propre définition de la réversibilité et à ce titre tout à fait légitime que l'Andra se dote de sa propre définition. Je pense d'ailleurs que c'est une notion très intéressante qui est notamment une manière d'opérationnaliser certaines dimensions du principe de précaution. Il me semble normal qu'il y ait une définition du point de vue des concepteurs, comme il pourrait y avoir une définition du point de vue des politiques pour ne considérer ici que ces deux perspectives.

Francis CHATEAURAYNAUD

Pour faire la jonction avec la question de Loïc - au sujet de la présence des publics, questions sur lesquelles on reviendra cet après-midi - c'est le degré de dialogisme qu'on peut attribuer ou non aux textes qu'on est amené à lire. Est-ce que ce sont des textes qui s'adressent, de manière monologique à une même instance, qui ne concerne au fond que l'Andra, et qui cherche à régler un argumentaire sur la question de la réversibilité ? Ou est-ce qu'il y a implicitement dans les textes un autre... Le principe de tout argument, c'est de faire exister un contre-argument ou en tout cas un contre-discours qui n'est pas forcément désigné et pris en charge explicitement. Donc quand tu dis qu'ils ne sont pas là, c'est ça que tu veux dire ? C'est-à-dire qu'on ne donne pas de place à un discours qui donne des arguments contre. Par exemple le stockage géologique profond. On part tout de suite sur une option, on essaie de déblayer en laissant implicites les discussions publiques qui ont quand même été nombreuses depuis les années quatre-vingt. D'ailleurs, la loi Bataille arrivait déjà dans un contexte de discussions. La technique d'écriture qui consiste à faire figurer déjà le résultat du débat ou une position opposée dans l'argumentation, est-ce que c'est un choix tactique ou est-ce que c'est le produit d'une culture d'entreprise ? Ou encore est-ce un impératif de communication qui pèse souvent sur un certain nombre d'acteurs qui consiste à ne pas faire exister les autres, voyez EDF ou Areva par exemple. Si vous reprenez par exemple toutes les discussions sur les incidents, les accidents, les problèmes de réacteur, etc., vous avez d'un côté les gens qui communiquent de manière complètement neutre, sans faire exister, par exemple, le réseau Sortir du nucléaire, alors qu'en face, chez les anti, EDF existe pleinement puisque le réseau Sortir du nucléaire a besoin de le mettre en scène pour le contrer. Vous voyez qu'entre ces deux options, il me semble qu'il y a différents jeux possibles et ça recoupe pas mal ce que disait Manuel sur la manière de se documenter puisque quand on propose un espace coopératif, cela suppose *a minima* de faire exister différents points de vue...

Il y a aussi la question du coût, la question de Pierre-Benoît allait aussi dans ce sens-là. Pour le sens commun, par exemple, la notion du coût est très souvent liée à une quasi-irréversibilité. C'est-à-dire que c'est tellement coûteux, qu'il y a une association qui s'établit de manière logique entre coût et irréversibilité. Pour pouvoir poser ces relations, pour montrer justement qu'il y a une stratégie de raisonnement propre à l'Andra ou alternative, cela me paraîtrait important d'explicitier les jeux d'acteurs et d'arguments par rapport auxquels on se situe, plutôt que de développer une forme de monologue sûr de sa rationalité interne.

Loïc BLONDIAUX

Dans le premier exposé, on a entendu qu'il y avait des divergences à l'intérieur de l'Andra, divergences qui n'apparaissent absolument pas, en tout cas pas à un néophyte comme moi. Elles n'apparaissent pas dans le texte. Elles sont peut-être en filigrane dans le texte, elles ont peut-être été intégrées, etc. Et ça c'est une vraie question : est-ce que l'Andra est obligé, d'un certain point de vue, d'aller au public avec une vision homogène des choses ? Est-ce qu'à l'intérieur de l'Andra, on aurait peut-être mis des points de vue différents qui pourraient enrichir le débat ?

Michel CALLON

J'ai trouvé les présentations et les discussions tout à fait intéressantes. Il me semble, j'en discutais avec Patrick tout à l'heure, qu'il y a un point qu'il faudrait peut-être à un moment ou à un autre remettre dans la discussion, c'est l'ouverture nécessaire du site d'enfouissement. Je veux dire qu'on a actuellement un parc de centrales nucléaires qui fonctionnent ; ce parc va être progressivement démantelé. Il y a une nouvelle génération de centrales qui vont être construites. Il y en aura peut-être une deuxième, peut-être une troisième. On peut donc faire l'hypothèse que le centre de Bure, qui devra accueillir les déchets des centrales des générations futures ne va pas être fermé - si je fais un calcul rapide à la louche - avant trois cents ans. Donc le scénario que je vois, c'est un scénario dans lequel quoi qu'il arrive, si le nucléaire se développe, le stockage de Bure n'est pas fermé avant trois cents ans. Sauf à trouver et décider un second site, mais cela ne me paraît pas du tout réaliste. Je me mets dans la position d'une vision optimiste du développement du nucléaire en France, optimisme relatif. Cela veut dire que la décision de fermeture définitive ne sera pas prise avant trois cents ans. Comme on continue à produire des déchets, si on ferme, où va-t-on les mettre ? Je ne suis pas certain qu'on ait un second site qui soit utilisable. La solution sur laquelle on va sans doute vivre d'ici là c'est typiquement une solution transitoire. La question de la fermeture n'est pas de saison.

Il est donc important de savoir comment vont être gérés les déchets des centrales, non encore construites mais qui vont l'être (et notamment quel sera le rôle de Bure). Du point de vue de la prise de décision, c'est très important. J'aurais tendance à dire : « Là, on est en train de tirer des plans sur la comète, de se dire : il faut prendre des décisions définitives, etc. », alors que ça n'est pas encore le moment de se poser la question. J'aurais plutôt tendance à dire : « Eh bien ! ce sont les quatre ou cinq générations qui vont nous suivre qui vont devoir se poser les problèmes qui sont en train de nous faire souffrir et qui seront amenées à prendre les décisions ». Ce sont elles qui devront se poser le problème de la fermeture définitive, etc. Alors, est-ce qu'on n'est pas en avance sur le calendrier ? Ça c'est une première réaction.

Et puis j'ai une deuxième réaction. J'aurais bien aimé avoir plus d'informations sur cette notion de décision par récurrence parce que je trouve que c'est une idée très intéressante. Vous avez signalé, je crois, à la fin de votre exposé, un débat à ce sujet à l'intérieur du service de l'Andra ; je pense que cette conception de séquences itératives décisionnelles est à creuser.

Un troisième commentaire sur le calcul économique. Si l'Andra ne parle plus que de coût, c'est parce que l'Andra et le projet qu'elle développe constituent un centre de coût pour le ministère de l'Industrie. Ce n'est pas dans la mission de l'Andra d'explorer les bénéfices car les bénéfices ce n'est pas l'Andra qui va se les approprier, c'est « la » société dans son ensemble. Reste que pour apprécier le programme, la notion cruciale, c'est celle d'externalité. Il faut que - d'une manière ou d'une autre, dans les scénarios ou dans les comparaisons des différents chemins possibles - il y ait une évaluation des externalités, qu'elles soient positives ou négatives. L'identification et la caractérisation des externalités est très liée, c'est mon point de vue, au débat public à son organisation et à sa finalité. Cette identification suppose une investigation qui se fait à travers le débat, à travers la consultation des différents groupes qui se sentent concernés par le projet. Une telle mise en discussion rend l'économie plus intéressante (car son domaine de validité est bien circonscrit) et la politique plus réaliste (car elle se saisit des questions que l'économie ne peut pas traiter). Quoi qu'il en soit, je me posais la question de savoir comment vous aviez l'intention, dans le travail que vous lancez, d'articuler l'exploration des externalités avec le calcul des coûts associés aux différentes options en fonction des différents calendriers possibles.

J'ai enfin un dernier commentaire sur ce que disait Loïc tout à l'heure, justement un point crucial pour la discussion, qui est la légitimité de l'Andra à identifier tous les points de vue possibles et à construire les scénarios censés expliciter sur un plan technique et organisationnel ces différents points de vue. En somme, on passerait d'une situation dans laquelle on entendait qu'une voix experte, celle de l'Andra confrontée à une cacophonie de discours plus ou moins rationnels qui s'opposent à l'Andra, à une situation dans laquelle l'Andra jouerait tous les rôles, y compris ceux qui ne lui reviennent pas. Est-ce que cette capacité de l'Andra doit être remise en cause ? Il est vrai que, quand on tient le rôle de quelqu'un d'autre, on a toujours tendance à le trahir un peu. Surtout si on l'ajuste aux solutions techniques que l'on pense disponibles et réalistes. J'ai le sentiment que, dans la situation actuelle, il n'y pas d'autre solution. L'Andra, à condition de montrer son indépendance d'esprit et sa capacité d'empathie vis-à-vis de positions qui ne sont pas celles des décideurs en place, dispose de la légitimité, qui est celle de toute agence indépendante, de préparer au moins sur le plan technique - quitte à discuter ensuite les choix techniques - la diversité des options et des scénarios possibles. Je ne vois pas franchement, étant donné la situation actuelle, qui d'autre peut faire ce travail.

Yannick BARTHE

Dans le prolongement de ce que vient de dire Michel, qui vient de rappeler que, *grosso modo*, on peut considérer qu'un centre de stockage ne sera pas fermé avant trois cents ans : cela me fait revenir - c'est un peu une idée fixe - sur la discussion de tout à l'heure à propos de la stabilité de la société. Je me demande comment on fait pour prouver qu'une société sera stable sur trois cents ans. En gros, d'un côté on dit, pour justifier le caractère limité dans le temps de la réversibilité, qu'on ne peut pas miser sur la stabilité de la société et de l'autre, on ne voit aucun problème à miser sur cette stabilité sur une période de trois cents ans. Ce genre de supposition est d'ailleurs courante : par exemple, on n'enfouit pas les armes nucléaires et l'on mise bien ici aussi sur la stabilité de la société pour les surveiller.

Michel CALLON

Dans le cas des trois cents ans, la réponse est simple. C'est que chaque génération nouvelle de parc nucléaire amène une autre décision qui est soit d'arrêter le nucléaire, soit de refaire une génération. C'est-à-dire que chaque génération a le même souci et la même préoccupation. Et comme les générations de centrales nucléaires ont la même longévité que les générations humaines, quarante ans, cela veut dire que chaque génération (humaine) se repose la question et ceci jusqu'à ce que l'une d'entre elles (pour des raisons qui ne peuvent être anticipées : par exemple des technologies enfin disponibles ou une certaine attitude vis-à-vis du risque) décide de trancher une bonne fois pour toutes.

Yannick BARTHE

Oui, mais du coup ça validerait une définition alternative de la sûreté qui peut correspondre à la solution de l'entreposage pérenne. Dans l'entreposage pérenne, la question de savoir si la sûreté peut être garantie au-delà de cent ans n'a pas de sens, puisque c'est tous les cent ans qu'il va falloir remettre les compteurs à zéro et se réinterroger sur un entreposage ou un stockage, etc. Cela valide cette alternative, y compris d'un point de vue de la sûreté. C'est ça qui est important.

Saida LAÂROUCHI-ENGSTRÖM

Cette question sur les bénéfices est très intéressante parce que normalement si on a eu une loi, une nouvelle loi qui pose une contrainte sur l'industrie, c'est la loi qui devrait définir les bénéfices de cette nouvelle loi. Si on n'a pas les idées, si on ne peut pas les lire quelque part, c'est parce qu'il n'y en a pas. Je vais essayer de discuter ça un petit peu, pour voir ce qui se passe en France et pour peut-être voir ailleurs. Chez nous, il n'y a pas de loi sur la réversibilité. On a été quand même amené à discuter du terme de « réversibilité ». Pourquoi ? Parce qu'en dialoguant avec les parties prenantes, ça a été très important pour donner une certaine sécurité aux citoyens, de dire qu'on peut toujours – si on fait quelque chose qui n'est pas selon ce qu'on avait décidé – le retirer. Je pense que l'industrie en Suède a toujours été très ouverte sur la réversibilité. À mon avis, ce n'est pas ce qu'on va essayer de faire. On va essayer de mettre en place un stockage profond avec une sûreté facile, sans contrôle. Sur le concept, on n'a pas à avoir une réversibilité au-delà de la phase opératoire.

Alors, on a été très ouvert là-dessus. Reprendre les colis, on peut toujours le faire, à un certain coût très élevé, à un certain effort assez important. C'est dans l'ingénierie parce que de ce côté-là, on peut toujours faire marche arrière. Or, les bénéfices de la société autres qu'un dialogue plus sécurisant vis-à-vis du citoyen que les politiciens ont essayé d'établir, il n'y en a pas. Normalement, il y a une nouvelle loi où on vous dit : dans la préparation de la loi, quels sont les bénéfices de cette loi ? Pourquoi on a produit ? Et on ne peut lire ça nulle part. D'ailleurs, c'est ce qu'on essaie de faire, sur le plan international, le travail que l'AEN va essayer de lancer : c'est justement de voir pourquoi on a cette notion de réversibilité et comment on devrait la gérer pour le meilleur des produits.

Sandrine SPAETER-LOEHRER

Sur l'histoire de la loi, je suis d'accord mais je ne suis pas là pour dire que ce n'est pas parce que la loi n'a pas calculé les bénéfices qu'on ne doit pas s'approprier la question de l'évaluation. C'est mon opinion.

Pour ma part, je trouve que c'est assez imprudent de décider aujourd'hui qu'il n'y a pas de bénéfice à la réversibilité sachant qu'on parle effectivement de cent, deux cents, ou trois cents ans. Une option, c'est quelque chose qui n'est pas forcément exercé. D'ailleurs, rien que le fait de savoir que peut-être demain ou après demain - là je parle de générations - nos enfants, nos petits-enfants auront un intérêt économique ou environnemental à ressortir ces colis, ça a de la valeur économique et financière. Ce n'est pas parce qu'aujourd'hui, on n'a pas une certitude sur les bénéfices que la valeur est zéro.

Vous parlez également de décisions politiques. Je n'adhère pas à votre propos mais je le respecte et je l'entends. À mon sens, si on adhère à votre propos, on arrête toutes les discussions. Du coup, il n'y a même pas besoin d'aller calculer les coûts puisque vous justifiez la pertinence de l'enfouissement profond, sans contrôle, complètement irréversible.

Il me semble enfin, et vous l'avez dit vous-même qu'il y a tellement de jeux et d'ambiguïté dans la définition de la réversibilité qu'il y a de la place, *a priori*, pour plusieurs scénarios.

Saida LAÂROUCHI-ENGSTRÖM

Je pense qu'on est d'accord sur un point : il y a des bénéfices. Mais ces bénéfices-là sont compris dans les analyses de sûreté déjà pour le stockage. Vous parlez d'une centaine d'années, pour la Suède, c'est une centaine d'années, c'est notre programme nucléaire ; pour la France, c'est peut-être trois cents ans, je n'en sais rien. Pour moi, il y a des bénéfices, absolument, mais c'est dans la phase opératoire jusqu'à la clôture.

Sandrine SPAETER-LOEHRER

Au début du XX^e siècle, on pensait que si on dépassait les 30 km/h en train, on allait être pulvérisé. Je reste prudente sur ce que sont capables de faire nos enfants et nos petits-enfants...

Anne BERGMANS

Si on va plus loin dans les discussions, il faut reconsidérer le pourquoi de la réversibilité parce que, même en Belgique, les décisions politiques ne sont pas nécessairement sans but. D'après moi, il y a deux grandes raisons pour lesquelles on peut faire appel à cette notion de réversibilité. L'une, c'est l'idée de ne pas donner de fait accompli aux générations futures et d'avoir la possibilité de réagir quand la technologie a changé ou quand on peut faire autre chose avec les déchets. Mais l'autre, c'est plutôt le fait que la société n'est pas sûre que les ingénieurs soient si sûrs de la sûreté. J'entends toujours, quand il s'agit du débat de la réversibilité, aussi chez nous, des ingénieurs dire que la sûreté et la réversibilité ne sont pas compatibles. Mais je ne crois pas que la société et le monde politique adhèrent à cette interprétation de la réversibilité. Pour eux, la

réversibilité donne un sens plus prudent et plus modeste à toutes ces hypothèses que vous pensez sûres.

Ce n'est pas que la société ne veuille pas de la sûreté. Tout le monde veut que la gestion des déchets soit sûre. Mais, pour la société, les preuves de la sûreté ne sont pas si strictes ou si sûres. À mon avis, il y a plus de possibilités de réversibilité dans votre concept de stockage que vous ne le pensez. On parle de cent ans, probablement de trois cents ans d'exploitation et de contrôle, avant qu'un stockage soit fermé. On a alors une longue période dans laquelle on peut avancer et démontrer que le dispositif se comporte comme prévu. Sur ce point-là, j'ai l'impression qu'il y a beaucoup plus de compatibilité entre ce que la société s'attend de la réversibilité et l'échelonnement du système de sûreté passive qui est envisagé par les ingénieurs de sûreté. C'est alors dommage qu'on focalise toujours sur les points de divergence et pas vraiment sur ce qu'on a en commun.

Saida LAÂROUCHI-ENGSTRÖM

En Suède, on est en train de voir si un stockage profond est réalisable pour le mercure, le même concept que le stockage des combustibles usés. D'ailleurs, on a utilisé le concept de combustible usé pour passer ça. Il n'y a pas de discussion de réversibilité. Il n'y a pas de discussion. Point.

Patrick LANDAIS

Je crois que la réversibilité - on ne l'a peut-être pas assez dit ce matin - vis-à-vis du programme scientifique, cela correspond aussi à une attitude de modestie. On a la certitude que les concepts qui accueilleront les déchets vitrifiés dans 40 ans, du moins je l'espère, ne seront pas ceux sur lesquels on est en train de travailler. Dans le cas contraire cela signifierait l'arrêt de tout progrès technique. Il y a donc aussi une approche de modestie.

Quand on indique que le stockage sera construit de façon modulaire - et ça peut être une réponse à ce que disait Michel Callon il y a quelques instants -, cela peut permettre par exemple de s'adapter à la prolongation du parc nucléaire français d'une vingtaine d'années, et à l'accroissement de volume de déchets que le stockage pourrait accueillir. Cela nous amène donc à faire des hypothèses alternatives. Il faut aussi se poser la question : qu'est-ce qui peut justifier, qu'à un moment on souhaite de reprendre des déchets mais aussi éventuellement des constituants ouvragés du stockage ? Le verre deviendra peut-être une matière terriblement rare dans cinquante ans. On peut aussi imaginer que le stockage profond, tel que l'Andra l'envisage, constitue un jour un petit gisement de fer attractif, parce que le fer sera à ce point rare qu'on en viendra à utiliser les ferrailles armant le béton à 500 mètres de profondeur ou constituant les surconteneurs de colis de déchets. En Suède, la question se pose peut-être d'une façon encore plus cruciale dans le sens où on introduit dans le stockage des quantités de cuivre importantes et que l'on stocke des combustibles usés, considérés en France comme des matières valorisables. Ce sont des questions qu'il faut se poser. Est-ce qu'économiquement on crée quelque chose qui est valorisable d'une façon ou d'une autre en particulier dans un contexte de décroissance des ressources minières ?

Yannick BARTHE

Je crois que ce n'est pas uniquement pour des questions de valorisation. La question qui est posée est aussi celle d'un traitement alternatif de ces déchets. Par exemple, imaginons que dans cinquante ans nous disposions d'un procédé permettant de les détruire totalement. Alors il serait intéressant de pouvoir les récupérer. Et cela n'a rien à voir avec le problème de la valorisation industrielle.

Jacques MERY

Une des questions qui a été soulevée est : quelle est la valeur de la capacité de choix des générations futures dans la réversibilité ? Est-ce que c'est lié justement à des aspects terre-à-terre économiques ou intrinsèquement, il n'y a pas une valeur au fait que les générations futures puissent avoir un choix, plutôt que de leur imposer un horizon fermé ? Est-ce qu'on peut valoriser ça économiquement ? Et c'est à mettre en regard avec la valeur des dommages environnementaux et sanitaires, il y a des travaux qui ont été faits là-dessus. Il y a ces deux valeurs-là qui s'opposent un peu, qu'on devrait essayer de quantifier. Pour les quantifier, il y a d'autres éléments qui ont été soulignés, ce sont les taux d'actualisation. Quel choix du taux d'actualisation sur quel horizon temporel ? Est-ce que l'Andra prend ce que propose le Commissariat général au Plan par exemple ou d'autres choses plus subtiles ? D'autre part, juste pour souligner quand même qu'il y a un sacré problème foncier avec les excavations de tous les matériaux déblayés : si ça fait 1 km² avec un remblai de 10 mètres de hauteur, c'est quand même un sacré remblai à gérer. Est-ce que les habitants de Bure sont au courant qu'en plus du site lui-même, il y a cette énorme montagne qui va être chez eux ? J'aurais plein d'autres questions, mais je vais m'arrêter là, vu l'heure.

Thibaud LABALETTE

Je voudrais dire trois choses. La première, c'est que la loi 2006 confie un rôle un petit peu supplémentaire à l'Andra parce qu'au-delà du stockage, on utilise maintenant la notion d'entreposage complémentaire au stockage. Et là quand on parle des scénarios à étudier, nous on est en plein dans cette logique-là, d'essayer de définir différents scénarios. On a parlé tout à l'heure des verres, est-ce qu'il faut les stocker au bout de soixante ans ? Il faut voir l'intérêt économique, les entreposer plus longtemps pour réduire les emprises. Ça, ça peut faire partie des scénarios qu'on étudie. Et Jean-Michel avait ouvert la porte sur le fait qu'on allait essayer de regarder l'alternative « entreposage de longue durée ». Même si effectivement, il y a un problème de positionnement de l'Andra, est-ce qu'on est légitime pour parler de ce sujet ?

Par rapport à la remarque de Michel Callon sur le scénario de poursuite du nucléaire, c'est une vraie question. Et ce que nous on a en tête c'est qu'à l'horizon 2015, quand on va déposer la demande d'autorisation - il y aura peut-être des choses qui auront évolué par rapport à aujourd'hui - il est probable qu'on n'aura pas toutes les cartes en main pour répondre à la question que vous posez. Et donc là, typiquement pour moi, c'est le genre de question qu'on posera peut-être dans les cent ans d'exploitation du centre. On pourrait se poser la question : comment est-ce qu'on traitera cette question à ce moment-là, sous quelle forme ?

Et, dernier élément sur le travail que vous engagez, je voudrais vous demander : sous des termes économiques, comment est-ce que vous traduisez le fait que dans la loi, il y a aussi une notion importante qui est de dire - je reformule - « les générations actuelles qui ont produit ces déchets ont la responsabilité de mettre en œuvre des solutions pour que les générations futures puissent potentiellement les gérer » ? Autrement dit, est-ce que vous savez les traduire en termes économiques ? On peut avoir envie de dire : « Aujourd'hui, on a les moyens financiers de construire ce centre de stockage alors que si on reporte cette décision, plus tard, on n'est pas sûr d'avoir ces moyens financiers ». D'une certaine façon, on les impose à nos successeurs. Est-ce que ça, vous savez les traduire dans votre approche économique ?

Sandrine SPAETER-LOEHRER

Oui, c'est pris en compte dans la théorie des options réelles. On actualise ce qu'on appelle les cash-flows nets des coûts, c'est-à-dire les bénéfices sur toutes les années en les actualisant.

Thibaud LABALETTE

Ça c'est la génération actuelle, comment est-ce que vous projetez après sur les générations futures ?

Sandrine SPAETER-LOEHRER

On essaie d'avoir des probabilités sur la capacité des générations futures à pouvoir financer ce genre d'ouvrage. Ça c'est le premier point. Et le deuxième point, c'est que, pour l'instant, dans toutes les études qui ont été faites - et si on regarde, un peu, historiquement, sur le siècle passé, le taux de croissance des générations passées - il a souvent été supposé qu'on peut tabler sur un taux de croissance de l'économie positif.

Thibaud LABALETTE

Oui, mais il y a aussi des gens qui disent que dans les sociétés occidentales, nos descendants seront moins riches que nous.

Sandrine SPAETER-LOEHRER

Justement, là, vous faites différents scénarios et les taux d'actualisation tiennent compte de ça. Certains macro-économistes qui travaillent sur les prévisions des taux de croissance viennent voir les économistes du risque maintenant en disant : « Jusqu'à présent, je supposais que le taux de croissance dans les années à venir était de tant, comment est-ce que je peux prendre en compte l'incertitude qui existe sur ces taux ? » Il y a des techniques simples. Après ce n'est pas l'économiste qui va dire : « effectivement demain c'est 3 % ou alors ça baisse ». Là, il faut se mettre d'accord sur les scénarios. Les techniques existent, mais la réponse je ne l'ai pas.

Troisième partie



Réversibilité et sûreté du stockage

Sylvie VOINIS

Andra, chef de service méthodes et études de sûreté

Introduction

La loi de programme sur la gestion durable des déchets du 28 juin 2006 (loi n° 2006-739) [1] stipule que « après entreposage, les déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou en faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde » et confie à l'Andra « de réaliser ou faire réaliser, conformément au plan national prévu à l'article L. 542-1-1, des recherches et des études sur l'entreposage et le stockage en couche géologique profonde et d'assurer leur coordination [...]. Les études et les recherches correspondantes sont conduites en vue de choisir un site et de concevoir un centre de stockage de sorte qu'au vu des résultats des études conduites la demande de son autorisation prévue à l'article L. 542-10-1 du Code de l'environnement puisse être instruite en 2015 et, sous réserve de cette autorisation, le centre mis en exploitation en 2025. »

Cette autorisation présuppose une confiance acquise dans la sûreté de la solution du stockage proposé confirmée par des évaluations externes notamment l'Autorité de sûreté nucléaire conformément à la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 (publication au JO du 14 juin 2006) [2] et plus particulièrement le décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007 [3] relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives.

L'objectif fondamental de la sûreté du stockage après sa fermeture : la protection des personnes et de l'environnement à long terme

La protection des personnes et de l'environnement à court et à long terme constitue l'objectif fondamental assigné à un centre de stockage de déchets en formation géologique profonde [4]. À la différence des installations nucléaires classiques (entreposage), l'évaluation de la sûreté d'un stockage géologique de déchets en couche géologique profonde présente la spécificité de devoir gérer deux phases de vie nécessitant d'aborder de manière coordonnée la sûreté tant en phase d'exploitation (classique) qu'en phase après fermeture (sans besoin d'intervention particulière - passivité). Au titre du principe de précaution, la sûreté¹ doit démontrer que cette protection est assurée tout au long des phases de vie du stockage.

1 L'article 1 de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire définit la sûreté nucléaire comme « l'ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires de base, ainsi qu'au transport des substances radioactives, prises en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets ».

Ce principe est mis en œuvre dans les études de sûreté en exploitation (court et moyen terme) en particulier par le choix des objectifs d'impact dosimétrique inférieur aux valeurs réglementaires ; une surveillance constante de l'impact des installations et une recherche continue d'amélioration. Ce principe est également mis en œuvre dans les études de sûreté à long terme par la maîtrise des incertitudes et en ne faisant pas reposer la sûreté du stockage sur des dispositifs actifs de surveillance et de contrôle (institutionnels ou de l'exploitant) au-delà d'une date évaluée au cas par cas. Cela n'exclut pas la possibilité de prendre des dispositions pour faciliter un tel contrôle ultérieur (constitution d'archives les plus durables possibles).

La spécificité du stockage requiert un lien très étroit entre conception, acquisition de connaissances et évaluation de sûreté selon un processus itératif et progressif réalisé périodiquement aux phases successives de développement du projet, pendant sa conception puis pendant son exploitation jusqu'à sa fermeture. Chaque évaluation conduit à confirmer ou à réviser les dispositions résultant de l'étape précédente, en vue d'accroître la robustesse de la démonstration de la sûreté du stockage pour l'ensemble des phases de vie [5]. Elle capitalise le retour d'expérience, les progrès scientifiques et techniques.

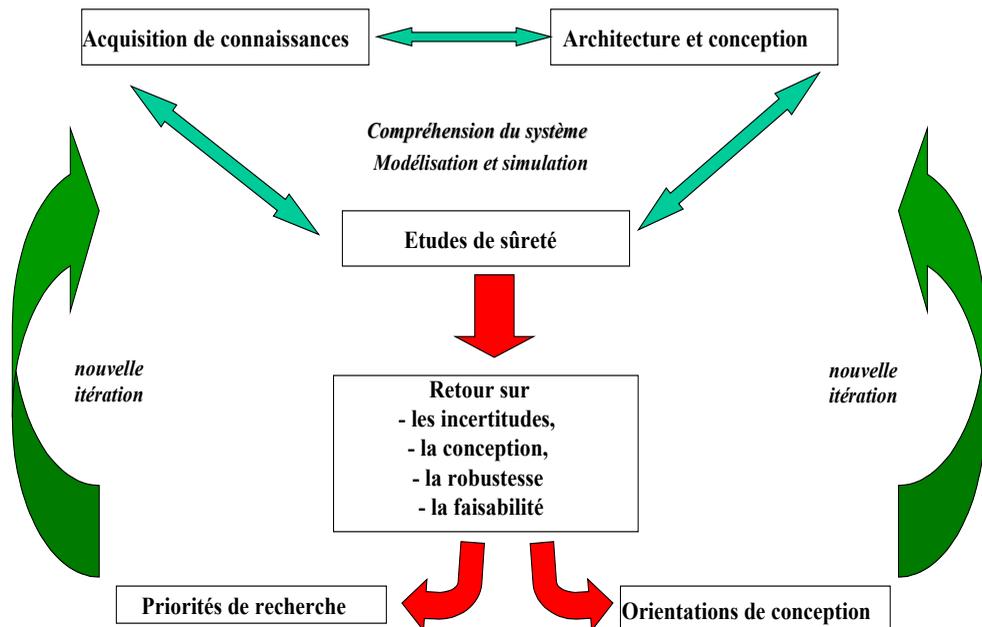


Fig. 1 - Une démarche itérative et progressive

L'évaluation de sûreté s'appuie sur des concepts de stockage décrits jusqu'au niveau de détail adapté aux besoins de l'évaluation. Ces concepts doivent permettre d'exploiter le stockage puis d'en maîtriser l'évolution à long terme, en toute sûreté pour le public et les travailleurs. Ils sont définis au regard de deux principes :

- la robustesse [6] : les éléments constituant le stockage doivent garantir un maintien de leur(s) fonction(s) face aux sollicitations internes et externes raisonnablement envisageables. De manière générale, les solutions les plus robustes sont celles pour lesquelles un retour d'expérience est disponible (technologies éprouvées, matériau dont le comportement est connu) et pour lesquelles les incertitudes résiduelles sont maîtrisées. L'analyse de sûreté permet de porter un regard d'ensemble sur la robustesse des solutions proposées ;
- la démontrabilité : le caractère robuste des solutions retenues doit pouvoir être vérifié aisément par les études sans faire appel à des démonstrations complexes et sujettes à caution. La démontrabilité est une notion relative et la simplicité d'une vérification n'est pas un but en soi : elle se fonde sur un bon usage de lignes d'argumentation multiples (retour d'expériences, raisonnements qualitatifs, appel à des analogues naturels, à des expérimentations ou à des démonstrateurs technologiques).

L'évaluation de sûreté du stockage se traduit donc en pratique par :

- en phase exploitation, l'analyse de sûreté est « conventionnelle » et suit les mêmes pratiques industrielles qu'une installation nucléaire classique avec une gestion des risques en cohérence avec le principe de défense en profondeur² [7]. La sûreté est prise en compte dès la conception, l'établissement de scénarios pour en évaluer les conséquences et l'identification de scénarios dits accidentels pour prévoir les interventions sont définis, la surveillance pendant la phase exploitation permet de maintenir et/ou ramener l'installation dans son domaine de fonctionnement. Avant fermeture, la sûreté est donc assurée à la fois par des dispositions techniques et une surveillance active. Les personnes doivent être protégées vis-à-vis d'autres nuisances que la radioactivité potentiellement générées par l'exploitation d'un stockage, en particulier l'exposition aux poussières ; l'exposition à des gaz potentiellement toxiques ; l'exposition à la température (résultant notamment de la chaleur dégagée par les déchets) ; les risques accidentels (incendie, déflagration, chute de bloc ou d'effondrement dans les installations souterraines, risques électriques, etc.).
- en phase après fermeture, l'analyse de sûreté est « spécifique » ; la sûreté est dite passive et ne se fonde pas sur des moyens de surveillance et de contrôle. Elle doit être intégrée dès la conception. La maîtrise de la sûreté passive suppose une

² Pour l'exploitation des installations, le principe de défense en profondeur décliné en niveaux est systématiquement appliqué et ceci dès la conception afin de maîtriser par une démarche de (i) prévention (éviter la survenue de l'événement redouté), (ii) de surveillance (contrôler en permanence les états de fonctionnement de l'installation en fonctionnement normal ou en maintenance), (iii) de limitation des conséquences en cas d'incident ou d'accident.

compréhension de l'évolution du stockage et une maîtrise des solutions technologiques proposées de manière à rendre le stockage le plus robuste possible sur des échelles de temps extrêmement longues (supérieures aux milliers d'années).

De par la loi de 2006, l'Andra doit intégrer des dispositions permettant d'assurer la réversibilité qui s'ajoute à l'obligation de fermeture définitive après l'exploitation, seule à même d'assurer la protection de l'homme et de l'environnement [la sûreté] à long terme. Ces dispositions ne doivent donc pas compromettre la sûreté en exploitation ni la sûreté après fermeture de l'installation de stockage. Ainsi, les dispositions spécifiques prises pour assurer cette réversibilité (maintien des galeries ouvertes, etc.) quelles que soient ses motivations, doivent satisfaire les exigences de sûreté tant en exploitation qu'après fermeture afin de garantir le respect de l'objectif de protection de l'homme et de l'environnement.

La réversibilité - des dispositions qui ne doivent pas compromettre la sûreté

La réversibilité tout comme la sûreté procèdent d'une attitude de modestie, conduisant à prendre acte de l'existence d'incertitudes et à les gérer dans le respect du droit des générations futures. Dans les deux cas, la réversibilité tout comme la sûreté en particulier avant sa fermeture renvoie à une gestion « prudente », par la possibilité d'un pilotage progressif permettant des décisions en termes de :

- capacité à intervenir sur le processus de stockage ;
- capacité à faire évoluer la conception du stockage ;
- capacité à reprendre les colis.

Qui se traduit par :

- des concepts de stockage simples et maîtrisés : liés au souci de faisabilité technique (capacité à gérer les risques) ainsi qu'à la maîtrise du comportement (capacité à gérer les incertitudes). Les options proposées doivent permettre la description de l'évolution de ces concepts dans le temps ainsi que leur modélisation ;
- une modularité des installations souterraines pour une gestion souple et une évolution de la conception au regard de sa surveillance. Les architectures proposées sont modulaires pour permettre (i) une gestion souple, par exemple la construction et l'exploitation par étapes, (ii) une intégration des avancées technologiques qui le présenteraient pendant l'exploitation séculaire et (iii) une intégration du retour d'expérience (surveillance). La gestion de la sûreté d'une installation suit un processus par étapes avec des réexamens de sûreté réguliers (loi TSN du 13 juin 2006 et décret de novembre 2007) qui comportent des analyses, des revues par des pairs et des évaluations sur la base du retour d'expérience de l'exploitation de l'installation, au travers d'un suivi de l'évolution du processus de stockage, et de sa surveillance. Chaque réexamen peut conduire à revoir des parties de l'installation, à une révision

des actions de surveillance. Ces réexamens contribuent à accroître la confiance dans la sûreté en exploitation de l'installation et à long terme. Les dispositions de surveillance sont définies dès la conception afin de prévenir des dérives de l'installation, de la maintenir dans son domaine de fonctionnement et de limiter les impacts sur l'homme et l'environnement. L'acquisition et l'interprétation des données issues des actions de surveillance (à la fois pour des besoins de sûreté et/ou de réversibilité) sont des éléments majeurs du contrôle de l'adéquation des dispositions mises en œuvre et du respect des objectifs. Elles doivent être conduites dans le respect des périodicités définies. Toute dérive par rapport aux valeurs attendues caractéristiques du comportement du stockage est analysée et accompagnée, lorsque nécessaire, d'investigations complémentaires pouvant dans certains cas amener à retirer les colis incriminés (voir détail ci après). Le programme de surveillance de l'installation mis en œuvre pendant la construction des ouvrages de stockage et jusqu'à la fermeture de l'installation, outre sa contribution à la sûreté en exploitation de l'installation, peut apporter également des éléments utiles à une prise de décision concernant la mise en œuvre de la réversibilité (récupération des colis).

Les dispositions techniques mises en place pour assurer la récupérabilité des colis quelle qu'en soit la raison peuvent engendrer des risques et des incertitudes supplémentaires qui doivent être évalués vis-à-vis de leur impact sur la sûreté et le cas échéant maîtrisés par des dispositions adéquates. Émis en 1991 puis révisé en 2008 par l'Autorité de sûreté nucléaire, le guide de sûreté relatif au stockage des déchets radioactifs HA-MAVL en formation géologique profonde [4] focalisé sur la sûreté après fermeture énonce ainsi des recommandations vis-à-vis de la réversibilité qui sont « sans présager des choix qui seront faits pour la mise en application du principe de réversibilité, la conception de l'installation de stockage doit avoir pour objectif que :

- l'installation de stockage soit robuste [...], de manière à atteindre avec un bon niveau de confiance les objectifs fondamentaux de protection de la santé de l'homme et de l'environnement ;
- la possibilité de retirer les colis soit préservée tant que la décision de fermer définitivement l'installation n'est pas prise ;
- la fermeture de l'installation puisse être effectuée de façon sûre, si le choix en est fait. »

Si la réversibilité du stockage implique des modes d'exploitation spécifiques, ainsi que des moyens de surveillance associés de l'installation, ils ne doivent pas compromettre la sûreté en exploitation et après fermeture de l'installation de stockage. Aucune disposition technique pouvant perturber significativement un élément contribuant à une fonction de sûreté, ne doit être ajoutée. En effet, dans un tel cas les dispositions prises pour garantir la sûreté de l'installation (fermeture au plus tôt par une mise en place des scellements) et les dispositions envisagées pour permettre la réversibilité (maintien des accès ouverts pour pouvoir reprendre les colis en sens inverse de leur mise en place) pourraient entrer en conflit. Dans ce cas, la sûreté primerait et des

solutions alternatives seraient à rechercher concernant la réversibilité (accès par galerie dédiée ?). Ainsi, on ne peut justifier par la seule prise en compte de la réversibilité, l'introduction de matériaux qui induisent une perturbation d'une nature nouvelle ou d'un ordre de grandeur significativement différent de celles qui préexistent pour d'autres raisons. Vis-à-vis de la sûreté après fermeture, les propriétés de confinement des colis de stockage et les propriétés favorables du milieu géologique ne doivent pas être dégradées de façon significative par le fait de maintenir trop longtemps des alvéoles accessibles.

Par ailleurs, la récupération des colis doit être assurée dans des conditions de sûreté équivalentes à celles prévalant lors de la mise en place. Il convient de rappeler un certain nombre de risques liés à la gestion réversible et qu'il s'agit de prévenir :

- l'ouverture prolongée d'un ouvrage ne doit pas dégrader la sûreté d'exploitation (accumulation de gaz, tenue mécanique des ouvrages) ou à long terme (incertitude sur l'état initial au moment de la fermeture, oxydation, désaturation, etc...) ;
- une ouverture prolongée des accès qui demande de fait un maintien de surveillance active exposerait au risque d'une perte de maîtrise technique temporaire (« contexte sociétal ») ;
- la conception doit éviter d'éventuels risques conventionnels ou d'origine nucléaire associés à la réouverture d'ouvrages de liaison et d'alvéoles (explosion, contamination, etc...). Le cas échéant des dispositifs sont à mettre en place pour prévenir les risques résiduels ;
- le système d'auscultation dédié à la surveillance de l'installation dans un but de reprise des colis ne doit pas perturber le fonctionnement en exploitation ou à long terme (hydraulique des scellements, mécanique des ouvrages, etc.) ;
- le vieillissement des installations et des équipements aura d'autant plus d'importance que la durée de maintien des accès ouverts sera prolongée. Ce vieillissement est à considérer en tant que contraintes dans les analyses de sûreté, dans les études de conception des installations et des équipements nécessaires aux procédés qui seront mis en œuvre. En parallèle, les études scientifiques devront permettre de disposer d'éléments sur le vieillissement des matériaux constituant les colis de stockage afin d'évaluer les risques potentiels associés à des opérations de maintenance des accès.

La gestion des colis défaillants, partie intégrante des études de sûreté dès la conception et pendant la conduite de l'exploitation

La gestion des défaillances est une part essentielle de l'analyse de sûreté par le concepteur ou l'exploitant lui permettant de vérifier qu'il existe des dispositions matérielles ou organisationnelles permettant de limiter leur probabilité, de les détecter ou de limiter ses conséquences. De plus, en application et au sens de l'arrêté du

10 août 1984, l'Andra, en tant qu'exploitant de l'installation nucléaire de base (INB), devra vis-à-vis des propriétaires de déchets :

- disposer d'un système définissant la qualité des colis de déchets et permettant de montrer l'obtention et le maintien de cette qualité ;
- exercer ou faire exercer une surveillance permettant de s'assurer de l'application par ceux-ci des dispositions notifiées contractuellement en matière de qualité de ces colis de déchets.

Pour satisfaire ces exigences réglementaires et la sûreté en exploitation et à long terme de l'installation, comme pour les centres de stockage en surface, la mise en place d'un système permettra de limiter le risque de stocker un colis défaillant. Cela pourra se traduire par :

- la définition de la qualité des colis de déchets au travers d'un processus d'élaboration des spécifications techniques d'acceptation des colis de déchets radioactifs en lien avec les analyses de sûreté. Tout colis de stockage devra respecter ces spécifications avant sa mise en stockage ;
- l'obtention de la qualité des colis de déchets au travers d'un processus d'agrément et d'acceptation des colis de déchets radioactifs, préalable à leur prise en charge sur le centre de stockage, et d'une traçabilité des colis stockés ;
- le maintien de la qualité des colis de déchets, et surveillance de l'application des dispositions notifiées contractuellement en matière de qualité des colis de déchets au travers d'un processus de surveillance et de suivi post acceptation au travers de la surveillance de paramètres (indicateurs) pendant l'exploitation (mise en place de capteurs, etc.), et de contrôle de colis par prélèvement.

Ces pratiques (déjà mises en place pour les installations des centres de surface) permettent de vérifier à tout moment qu'ils satisfont les fonctions qui leur sont attribuées. Si, malgré ces contrôles et donc ces mesures de prévention, un ou des colis défaillants étaient déjà stockés (événement dont l'occurrence doit rester très faible); au regard de leur impact potentiel à évaluer sur la sûreté en phase exploitation et après fermeture (vérification du respect de l'objectif de protection en situation incidentelle), la récupérabilité des colis défectueux ou endommagés pourrait être décidée selon un processus de récupérabilité défini à l'avance incluant les implications techniques (méthodes de reprise de colis) et organisationnelles (plan d'intervention en cas de situations accidentelles). La récupérabilité pourrait concerner une partie des colis alors que la mise en place d'autres colis continuerait. La procédure mise en œuvre pour récupérer des colis défectueux devrait varier avec la période écoulée depuis leur mise en place et de l'évolution des accès, et dépendra de la conception du stockage et des stratégies d'exploitation.

Enfin, par mesure de précaution, ne pouvant exclure d'éventuels problèmes de contrôle qualité au niveau des colis de déchets, la défaillance de colis (possibles

défauts de fabrication) une fois stockés doit être envisagée dans l'analyse de sûreté dès la conception [8] et en particulier dans les évaluations de conséquences. Au stade de la conception, dans la mesure où les études détaillées sur la fabrication de tels objets sont prématurées, la définition des possibles défauts revêt nécessairement un caractère arbitraire. À titre illustratif, il est représenté conventionnellement par une perte d'étanchéité totale à une date de l'ordre du siècle après la fermeture du stockage dans le cas des colis de déchets HA pour le surconteneur pour le Dossier 2005 argile [9], a permis notamment de vérifier que l'impact restait acceptable.

Références

1. Loi n°2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. JO n°149 du 29 juin 2006-12-18.
Disponible sur www.legifrance.gouv.fr.
2. Loi n°2006-686 du 13 juin 2006 (publication au J.O du 14 juin 2006) relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire.
Disponible sur www.legifrance.gouv.fr.
3. Décret n°12007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives.
Disponible sur www.legifrance.gouv.fr.
4. *Guide de sûreté relatif au stockage définitif de déchets radioactifs en formation géologique profonde* (2 février 2008). Disponible sur le site de l'ASN :
http://www.asn.fr/sections/rubriquesprincipales/textes-referenc/e/acces-par-theme/gestion-dechets/dispositions-specifiques/guide-surete-relatif-au-stockage/downloadFile/file/guide_RFSIII_2_fv1_2_.pdf
5. Andra (2005) : *Dossier 2005 Argile Synthèse – Évaluation de la faisabilité du stockage géologique en formation argileuse*. Disponible sur le site de l'Andra :
http://www.andra.fr/publication/produit/D05A_266.pdf
6. AEN (2005) : *Post-Closure Safety case for Geological Repositories, Nature and Purpose*. Disponible sur le site de l'AEN :
<http://www.nea.fr/html/rwm/reports/2004/nea3680-fermeture.pdf>
7. AIEA (1996): *INSAG-10 Defence in Depth in Nuclear Safety*. Disponible sur le site de l'AIEA : http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1013e_web.pdf
8. Andra (2005) : *Dossier 2005 Argile. Tome Architecture et gestion du stockage géologique*. Disponible sur le site de l'Andra :
http://www.andra.fr/publication/produit/D05A_268_TAG.pdf
9. Andra (2005) : C RP ADSQ 04-0022 : *Dossier 2005 Argile. Tome Evaluation de sûreté du stockage géologique*. Disponible sur le site de l'Andra :
http://www.andra.fr/publication/produit/D05A_267_TES.pdf

Discussion

Soraya BOUDIA
Université de Strasbourg

Je voudrais tout d'abord dire tout l'intérêt que j'ai eu à lire les textes qui nous ont été adressés et préciser à partir de quelle position seront faits mes commentaires du texte de Sylvie Voinis, non pas dans un souci d'une quelconque revendication identitaire mais dans celui de mieux me faire comprendre. Je suis historienne des sciences et j'ai consacré un certain nombre d'années à étudier l'histoire de la radioactivité et celle du nucléaire. Les commentaires qui vont suivre découlent de ce que l'histoire du nucléaire m'a appris dans la mesure où l'histoire nous apprend quelque chose sur le présent. Le texte et l'intervention de Sylvie Voinis nous permettent de saisir ce que sont aujourd'hui les conceptions de la sûreté en matière de stockage et comment la question de la réversibilité est saisie dans ce cadre. Mes connaissances sur les questions de sûreté sont limitées étant plutôt spécialiste des questions de radioprotection. Toutefois, comme nous le verrons un certain nombre d'interrogations et de remarques sont communes à ces deux domaines aux prises avec les problèmes de risques liés au nucléaire et aux débats publics qu'il engendre.

À la suite d'une première lecture du texte, j'ai d'abord eu le sentiment qu'il y avait une ambiguïté sur le domaine d'application de la réversibilité entre un stockage réversible et une réversibilité de la solution « stockage géologique profond ». Cette interrogation venait du fait que j'avais ma propre définition de la réversibilité qui ne reposait alors sur aucune véritable réflexion et qui se résumait ainsi : la réversibilité veut dire un choix sur lequel il est possible de revenir. Autrement dit, une définition simple, généraliste et peu aux prises avec un cas concret. L'un des mérites du travail engagé par l'Andra est de pousser les chercheurs en sciences sociales travaillant sur les sciences et les technologies, à engager un véritable travail de clarification, voire de conceptualisation, de ce que signifierait la réversibilité des solutions techniques. Ce qui ressort des textes et de nos débats est que la réversibilité dont il est question dans le travail de l'Andra est investiguée dans le cadre d'un choix déjà opéré de gestion des déchets, celui du stockage géologique et apparaît comme un nouveau paramètre dont il faut tenir compte dans ce cadre. Du coup, le premier ensemble de questions que je souhaite discuter concerne la nature, la signification et le domaine d'applicabilité de la réversibilité dont il est question ici.

Il apparaît clairement que l'Andra a engagé un effort important pour définir les contours, les modalités, les apports et les limites d'une réversibilité entendu dans un sens technique, proche de l'idée de récupérabilité. La définition qui semble émerger dans une perspective quasi exclusivement technique me pose quelques problèmes et, je suis convaincue, elle en posera. En effet, il me semble il y a quasiment une évacuation des raisons qui avaient amené le législateur à poser la question de la réversibilité et l'irréversibilité. Je pense que si l'on devait mener des travaux en SHS sur la réversibilité, l'un des chantiers importants à engager est celui qui devrait nous permettre de mieux restituer le processus qui a abouti à la formulation de la question de la réversibilité, de comprendre ce qu'étaient les attentes et les enjeux dans la cristallisation d'une telle

formulation. Je ne dévoilerai rien en disant que l'adoption de l'idée (et de la terminologie) « réversibilité/irréversibilité » répondait à un certain nombre de débats publics vifs et à des critiques de la solution de stockage des déchets radioactifs. L'émergence de la question de la réversibilité et sa prise en compte dans les politiques des déchets radioactifs est modelée par une histoire, celle de la politique des déchets radioactifs et plus généralement celle du nucléaire. Ce point peut paraître trivial mais je tiens à le souligner car, à mon avis, le passé (ou le passif) du dossier nucléaire pèse lourdement sur tous les débats contemporains relatifs au nucléaire. Si nous discutons aujourd'hui d'une notion comme la réversibilité, c'est qu'il y a eu une série d'événements, de mobilisations, de critiques, de réponses institutionnelles et politiques qui ont induit des reconfigurations et des déplacements dans le domaine nucléaire. Je pense qu'il est assez important de mettre en perspective ces transformations, d'en comprendre les causes et la nature des réponses qui y ont été apportées car sinon les problèmes soulevés dans le cadre des critiques sociales et politiques du nucléaire (entendu au sens large) ne manqueront de revenir au devant de la scène.

Le passage par la « réversibilité » reflétait la volonté d'un certain nombre de groupes ou de parties prenantes de garder des alternatives au traitement des déchets et, pour d'autres groupes, garder des alternatives au nucléaire tout simplement. Cette volonté de disposer d'alternatives, de laisser ouvert les possibles me semble absente et peu prise en compte dans ce que j'ai entendu ce matin. Le choix du stockage géologique profond a tellement les faveurs des experts qu'il configure totalement la façon dont la réversibilité est approchée et pensée, avant tout comme une question technique. Du coup, les différents éléments que nous avons entendus tendent faire de la réversibilité un paramètre supplémentaire qu'il faut intégrer dans la solution - stockage géologique profond. Est-ce que cette définition technique à laquelle l'Andra travaille répond aux attentes et aux demandes (probablement multiples et contradictoire) qui avaient débouché sur la formulation du concept de réversibilité ? Peut-être qu'elle conviendra au politique et au législateur mais elle ne satisfera probablement pas les différents groupes d'acteurs du dossier des déchets nucléaires. Je voudrais particulièrement insister sur le fait que dans ce cas, comme dans de nombreux dossiers sujets à controverses, on ne peut pas évacuer totalement la question de la critique parce que de toute façon, elle se rappellera à nous ou elle se rappellera à vous à un moment donné. Les raisons qui avaient amené différents acteurs à revendiquer, à poser et à formuler le problème de la réversibilité/irréversibilité sont là et resteront là. Je n'insiste pas sur ce point pour dire que la solution du stockage profond n'est pas la bonne solution mais pour pointer sur le fait que lorsqu'on discute de la question de la réversibilité à un bout, il faut tenir à l'autre bout la question du débat public ou plus précisément celle des critiques publiques non pas uniquement de mouvements contestataires du nucléaire mais également de discussions ouvertes et légitimes en régime démocratique.

Quelle place joue la sûreté dans ce débat ? Elle occupe une place importante. Notons tout d'abord que la sûreté, en prenant appui sur plusieurs arguments, « milite » en faveur d'un stockage géologique profond. On pourrait même dire que, sous son regard, aucune autre solution ne paraît même envisageable. La mise en avant de l'idée d'une sûreté passive, donc d'une solution irréversible à un moment donnée, est la seule solution fiable à long terme en cas de crise sociétale aux yeux d'un certain nombre

d'experts du dossier. La réponse d'un certain nombre d'opposants est simple : en cas d'une telle crise, si les déchets sont dangereux, leur dangerosité est relative en comparaison avec celles des centrales et des armements nucléaires.

Plaçons-nous maintenant dans le cadre de la définition de la réversibilité étudiée actuellement par l'Andra. Une des questions qui se posent est celle de savoir en quoi l'émergence de la problématique de la réversibilité/irréversibilité change les conceptions de la sûreté et modifie les pratiques dans ce domaine. Il me semble, et les échanges que nous avons eus confirment ce sentiment que pour l'instant les pratiques de sûreté n'ont quasiment pas connues de transformations du fait de l'émergence de la question de la réversibilité. Mon sentiment est que les spécialistes de la sûreté sont devant un exercice parfois difficile. Ils ont des convictions, des options qui ont été forgées au cours de dizaines d'années de pratiques. Nombre d'entre eux estiment que le problème de stockage des déchets est relativement maîtrisé, que les dispositifs prévus initialement étaient suffisants. La réversibilité telle qu'elle est envisagée actuellement induit une surveillance accrue du fait du maintien de l'ouverture des alvéoles par exemple. Elle peut de ce fait contribuer à augmenter la confiance du public dans la sûreté des installations. Néanmoins, elle peut poser de nouveaux problèmes. Sylvie Voinis souligne que le maintien de l'ouverture des alvéoles induit des risques d'accumulation de gaz et d'un rejet éventuellement prolongé. Par ailleurs, lors de la récupération possible de colis, le risque explosion suite à une accumulation de gaz est à envisager et plus généralement, les systèmes de fermeture mis en place pour assurer la reprise des colis peuvent aller à l'encontre de mesures de radioprotection. Peut-être qu'il serait intéressant d'explicitier les avantages de l'adoption de la réversibilité technique mais également que les contraintes nouvelles qu'elles engendrent, notamment du point de vue de la sûreté, dans la perspective d'éclairer au mieux les débats au moment où des décisions seront à prendre.

Ces éléments posent bien sûr la question de savoir quel est le rôle d'un opérateur technique ou d'une agence d'expertise. Quel est le rôle de l'Andra dans la future loi sur les déchets, l'aide à la décision ou le choix de la solution technique ? Il s'agit là d'une question qui prend un sens aigu dans le domaine nucléaire car d'un point de vue historique, peut-être particulièrement en France, l'image du nucléaire reste celle d'un domaine où les choix sont rarement discutés, voire sont imposés. Dans le cas de la future loi sur les déchets radioactifs, il paraît difficile de ne pas laisser le sentiment à différents groupes qui ne sont pas d'accord avec telle ou telle option ou cadrage du problème, que les choix de la solution technique, celui du stockage géologique profond comme celui du type de réversibilité qu'il s'agira de mettre en œuvre sont déjà faits. Je crois qu'il ne faut pas être devin pour affirmer qu'une telle posture sera source de débats de degré plus ou moins virulents. Dans un dossier comme celui des déchets radioactifs qui a déjà fait l'objet de bien de controverses, donner le sentiment (et pas uniquement le sentiment d'ailleurs) que les choix, tous les choix sont faits sans laisser aucune place à une autre option, n'est pas de nature à apaiser les critiques. C'est là une situation de nature à renforcer une suspicion qui a déjà une longue histoire. En effet, il y a une forme de mémoire sociale du dossier nucléaire dont l'un des traits marquants est la méfiance par rapports aux modalités de décision. C'est là un paramètre important du dossier nucléaire dont il convient de tenir compte.

Je voudrais conclure sur deux aspects. Tout d'abord, le nucléaire apparaît comme un domaine technologique ancien au regard d'autres secteurs liés aux sciences et technologies et qui font l'objet de débats publics parfois controversés. Ce déploiement sur une temporalité relativement longue, son renouvellement régulier face à la critique et son expérimentation de différentes modalités de gestion et de régulation en font un laboratoire d'expérimentation pour penser les questions technoscientifiques. Nous discutons aujourd'hui de la notion de réversibilité, cette notion pourrait tout à fait être pertinente pour d'autres domaines dans la mesure où dans les débats liés aux sciences et technologies, la question de l'irréversibilité revient régulièrement, comme en témoigne l'exemple récent des OGM. La réflexion qui est engagée sur la question des déchets radioactifs peut donc être utilement réappropriée et déployée sur d'autres terrains.

Le second aspect qui me semble important est une reformulation de ce que j'ai déjà mis en avant dans mes commentaires. Les institutions nucléaires (entendues dans un sens large) - ont régulièrement montré au cours de l'histoire une certaine capacité à se saisir et à intégrer une partie des critiques qui leur sont adressées. Toutefois, l'un des problèmes réside dans la façon dont ces critiques sont reformulées dans le processus de leur prise en compte. Et ce qui m'a toujours frappée, c'est le degré de technicité avec lequel les problèmes sont reformulés lorsqu'ils sont intégrés au sein des institutions. C'est ce qui me semble retrouver ici autour de la notion de réversibilité. Cette « technicisation » découle probablement du besoin de formuler les problèmes dans des termes qui donnent prise à l'investigation technique et scientifique. Autrement dit, on reformule les problèmes de telle façon qu'on soit en mesure d'y apporter au moins une réponse partielle. Dans ce processus, il y a une évacuation d'une partie des demandes et des aspirations exprimées par les différentes parties prenantes. Ces demandes peuvent ré émerger et s'exprimer à nouveau par les mêmes personnes ou par d'autres. C'est ce processus qui explique le rebond des controverses techno scientifiques comme celles autour des déchets radioactifs. De ce point de vue, je crois que nous avons également à mener une réflexion sur les capacités et les modalités des institutions à se saisir des problèmes, à les reformuler sans jamais perdre de vue qu'il s'agit rarement de problèmes uniquement techniques, que la dimension publique ou la dimension politique reste absolument centrale dans les questions que nous discutons ici.

Montrer et démontrer la réversibilité

Patrick LANDAIS

Andra, directeur scientifique

Concevoir la réversibilité ne peut se faire sans prendre en compte la réalité de l'environnement géologique dans toutes ses composantes. En effet, la réactivité du milieu aux perturbations engendrées par la création d'infrastructures de stockage dépend non seulement de la nature et de l'extension de ces infrastructures mais aussi des propriétés intrinsèques de la couche géologique hôte. Dès lors, pour aborder le problème de la réversibilité, il apparaît indispensable de considérer le stockage comme un système profondément interactif :

- les propriétés intrinsèques du milieu géologique conditionnent le dimensionnement et la distribution des architectures de stockage ;
- l'évolution du stockage est intimement liée aux interactions entre le milieu géologique et les infrastructures ;
- ces évolutions conditionnent les limites de la réversibilité (dans le temps mais aussi dans sa facilité de mise en œuvre).

Les contraintes imposées par l'environnement géologique

Le milieu géologique lui-même est caractérisé par des propriétés (principalement mécaniques) qui conditionnent la réversibilité quelle que soit la nature des infrastructures. Si l'on considère trois grands types de roches étudiées ou sélectionnées au niveau international pour accueillir des stockages de déchets radioactifs (granite, argile, sel), on constate 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 convergences (diminution du volume des vides par unité de temps, tendant à refermer progressivement les infrastructures souterraines en absence de revêtement ou d'ouvrages de soutènement) très différentes. Le granite, étudié en particulier dans les pays scandinaves, est une roche dure dont les mouvements seront très limités. À l'opposé, les formations salifères (retenues aux États-Unis et étudiées en Allemagne) présentent des convergences élevées et un fluage (déformation lente d'un matériau soumis à une sollicitation prolongée) important. 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).

Ainsi le choix d'un site pour le stockage et surtout de la nature de la roche hôte – pour ses propriétés de confinement de la radioactivité – conditionnent très largement le concept de réversibilité. Dans le cas de l'Andra, le site de Meuse/Haute-Marne a été sélectionné puis confirmé sans que la réversibilité ne constitue un critère essentiel

pour établir la faisabilité du stockage dans un tel environnement. On a avant tout retenu comme critère de sélection des caractéristiques telles que la géométrie de la couche, son homogénéité, sa faible perméabilité et l'aptitude des minéraux argileux qu'elle contient à fixer 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 cette fois l'exigence de réversibilité.

Les contraintes imposées par le comportement du stockage

Pour évaluer quelles sont 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 cent ans).

L'Andra a, pour ce faire, mis en place une approche appelée analyse phénoménologique des situations de stockage (APSS) qui consiste à décrire dans le temps et dans l'espace les processus qui guident l'évolution de chaque composant représentatif du stockage (alvéole, galerie, puits, milieu géologique, etc.) et ses interfaces. L'APSS a été initialement conçue pour la phase de post-fermeture puis adaptée à la période d'exploitation du stockage et des conséquences potentielles de l'utilisation de la réversibilité à travers des chronogrammes glissants (dans l'optique de traiter différentes durées de réversibilité envisageables). Cette approche originale 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 indiquant quels processus sont mis en jeu. Elle sert de base pour identifier les incertitudes et fixe le domaine des modélisations à réaliser.

Cette période, de quelques centaines d'années, est sans doute la plus complexe à décrire. Elle est le siège de nombreux processus transitoires et de déséquilibres forts entre le stockage et son environnement. Par conséquent, maîtriser la connaissance de l'état du stockage sur une période au cours de laquelle se déroulent de tels processus requiert une base de données très importante. Là encore, on peut considérer que la réversibilité n'est pas l'élément central guidant les principaux progrès scientifiques à accomplir. Ceux-ci relèvent plus de la sûreté en exploitation et du nécessaire équilibre entre la maîtrise des comportements à court et long terme.

Outre les aspects géomécaniques évoqués précédemment, des processus hydrauliques, thermiques et chimiques affectent le stockage dès son ouverture ou 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 alvéoles MA-VL conduit à une désaturation des ouvrages et de la roche environnante. Elle retarde donc le retour de l'eau dans les ouvrages et, par conséquent, les processus de dégradation chimique des ouvrages cimentaires ainsi que l'éventuelle mise en solution de radionucléides. En première approximation, on peut alors considérer que le maintien de l'accès facile aux colis MA-VL (et donc de la réversibilité) constitue un facteur de stabilité chimique des alvéoles associées.

Il en va différemment pour les alvéoles HA (déchets vitrifiés). En effet, celles-ci sont principalement associées à des matériaux métalliques (aciers). Si l'on maintient ces alvéoles ouvertes (ou du moins facilement accessibles), l'oxygène y sera renouvelé et contribuera à une altération rapide des aciers ce qui pourrait avoir des conséquences sur d'autres processus de dégradation (en particulier celle des colis de verre) ou sur le transfert des radionucléides.

D'autres exemples peuvent être évoqués qui montrent que les choix de conception du stockage conditionnés par les impératifs liés à l'exploitation et par la maîtrise de l'évolution à moyen et long terme, conditionnent en grande partie la façon de gérer la réversibilité. Ceci a évidemment des conséquences sur les questions scientifiques à traiter ainsi que sur la gestion des incertitudes associées.

Par exemple 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 liées à la nature des contacts entre matériaux et à la spécification des réactions chimiques qui sont susceptibles de se dérouler dans un milieu rendu discontinu par la présence de vides. Enfin, le comblement des vides (sous l'effet du poids des terrains), conduira à des interfaces entre matériaux assez peu prédictibles. Cela induit inévitablement des incertitudes dans la modélisation des processus complexes se déroulant à ces interfaces.

Montrer et/ou démontrer

En première analyse, on peut estimer que la réversibilité est facilement montrable. Par exemple, des dispositifs de manutention des colis peuvent être construits à une échelle 1 et permettre d'expliquer comment un colis mis en place à un instant t peut être extrait de son alvéole à un temps $t+x$. C'est l'aspect montrable de la réversibilité, approchée sous l'angle de l'ingénierie et des procédés. Néanmoins, ces démonstrateurs technologiques ne prennent en compte qu'une partie des exigences liées à la réversibilité. Ils sont forcément limités dans le sens où ils ne peuvent pleinement reproduire l'évolution de l'environnement dans lequel de tels dispositifs technologiques devront être placés durant une période d'ordre séculaire.

Démontrer la réversibilité imposerait, comme indiqué dans le paragraphe précédent, 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 cette période. Cela signifierait de réaliser des expérimentations in situ, intégrées sur le plan de l'ingénierie, représentatives des contraintes citées plus haut et dont la durée soit suffisamment longue. Cela apparaît *a priori* difficilement réalisable. On doit alors suivre un raisonnement scientifique plus fractionné, sans doute moins exigeant sur le plan expérimental et moins ambitieux sur le plan de la « montrabilité ».

Différents types d'expérimentations destinées à tester les composants du stockage qui ont un impact potentiel sur la gestion de la réversibilité doivent alors concourir à disposer d'éléments suffisants pour démontrer, cette fois sur la base de résultats expérimentaux, de modèles physiques et de simulations numériques quelles sont les potentialités et les limites de la réversibilité. Par exemple, en reproduisant *in situ* l'évolution d'un scellement en argile, on peut estimer, sur la base des caractéristiques physiques atteintes, de quelle façon et dans quelles conditions il pourrait être démonté. On doit, de la même façon avoir la capacité de prédire des interactions entre matériaux qui pourraient conduire à des évolutions locales susceptibles de limiter la réversibilité.

Les enjeux scientifiques et techniques

Les enjeux scientifiques associés à la réversibilité concernent des interactions entre phénomènes complexes, mais aussi des zones ou des interfaces très spécifiques dans les architectures de stockage. Certains de ces enjeux ne sont d'ailleurs utiles que pour traiter de la réversibilité, leur impact sur l'exploitation *stricto sensu* ou sur l'évolution à long terme étant de second ordre.

On a indiqué précédemment les limites de l'expérimentation en matière de « montrabilité » des opérations de réversibilité. Des limites existent également sur le plan scientifique tant sur le plan de l'acquisition de données cinétiques précises permettant de quantifier l'évolution des phénomènes que sur l'identification de certaines conditions susceptibles de déclencher des phénomènes spécifiques (comme par exemple la corrosion ou la resaturation d'une alvéole de déchets). Il ne s'agit pas d'identifier les phénomènes, mais plutôt d'avoir la capacité de positionner leur déroulement et leur extension dans le temps.

Les progrès à réaliser en continu reposent évidemment sur l'observation *in situ* à partir de dispositifs expérimentaux modèles qui permettent d'appréhender plus finement des éléments clés de la phénoménologie. En effet, la précision requise pour décrire l'évolution à long terme du stockage oscille, en fonction des phénomènes ou des périodes considérés, entre quelques centaines d'années et quelques dizaines de milliers d'années. Ici, l'échelle est parfois de quelques années ce qui requiert une tout autre approche.

Cette dernière repose en particulier sur une stratégie d'observation et/ou d'auscultation aussi adaptée que possible, en amont de l'exploitation du stockage (dans le laboratoire souterrain ou lors des phases de creusement des architectures de stockage), au cours de celle-ci et autant que faire se peut postérieurement à la fermeture complète du stockage. Cela veut clairement dire que la compréhension de mécanismes pouvant influencer des décisions associées à la réversibilité sera acquise en continu, y compris lors de l'exploitation du stockage et que, par conséquent, des ajustements pourraient être apportés à la fois sur le plan technologique et dans les modèles conceptuels dérivés des études scientifiques.

Cela revient également à s'assurer de la réactivité de l'exploitant Andra vis-à-vis des progrès scientifiques et technologiques et à conserver une souplesse suffisante pour éventuellement y adapter sa gestion de la réversibilité.

Conclusion

Les réflexions d'ordre scientifique autour de la réversibilité ou même de la gestion progressive d'un stockage amènent à se poser un certain nombre de questions.

Les prérequis pour la réversibilité excèdent-ils les capacités actuelles de la science ?

Autorisent-ils à penser que les progrès (éventuellement déjà en cours) seront suffisants pour apporter des éléments supplémentaires de validation ?

À l'extrême, les progrès des connaissances scientifiques et technologiques sont-ils des moteurs de l'exigence en matière de gestion réversible d'un stockage ?

Sur la base de ces questions, on peut s'interroger sur la qualité de la démonstration scientifique exigée pour prendre une décision à la fois en matière de choix de concepts et d'organisation de la gestion d'un stockage (incluant la notion de réversibilité).

Discussion

Madeleine AKRICH

Directrice du Centre de sociologie de l'innovation (CSI) de Mines ParisTech

Je suis restée relativement proche du texte écrit qui nous a été distribué, qui a d'ailleurs pour moi dégagé une tonalité un peu différente de l'exposé oral qui en a été fait.

Ce texte m'a un peu troublée : je me suis demandé ce que vous vouliez nous dire, vers quel endroit vous vouliez nous attirer. Mon impression est que vous vouliez nous emmener vers un certain type de conclusion et que - peut-être en raison de mes dispositions personnelles - cela m'a amenée plutôt à une conclusion inverse.

Une autre façon de dire mon trouble consiste à reprendre un peu les questions que vous posez à la fin de votre texte. Dans la conclusion, vous dites : « Ces réflexions amènent à se poser un certain nombre de questions. Les prérequis pour la réversibilité excèdent-ils les capacités actuelles de la science ? Autorisent-ils à penser que les progrès éventuellement déjà en cours seront suffisants pour apporter des éléments supplémentaires de validation ? » Mon sentiment est que tout votre texte est une réponse anticipée à ces questions que vous posez à la fin, d'où mon trouble : pourquoi poser une question à laquelle on a déjà répondu ?

Votre texte met en scène, il me semble, une sorte de paradoxe autour de la réversibilité. En première approximation, on peut penser que les partisans de la réversibilité veulent se garantir contre un certain nombre d'incertitudes et se donner les moyens d'une optimisation future qui pourrait se faire sur des bases scientifiques et techniques complètement inconnues aujourd'hui : le traitement définitif des déchets serait différé car les solutions disponibles à l'heure actuelle ne sont pas complètement convaincantes.

Cependant, il m'a semblé que vous montriez - d'autres contributions comme celle sur l'instrumentation produisent un peu le même effet - qu'en prenant l'option de la réversibilité, on multiplie les sources d'incertitudes irréductibles à court terme, on rajoute un certain nombre de risques, on rajoute des contraintes qui empêchent de clore facilement le dossier. On a l'impression d'être dans une zone d'incertitude majeure, car, pour résoudre ces incertitudes spécifiques créées par la réversibilité, il faudrait des investissements énormes en matière de recherche, il faudrait penser des instruments dont on n'a même pas idée, il faudrait constituer des bases de données considérables que l'on n'a pas à disposition aujourd'hui, etc. Donc, d'un certain point de vue, on est dans une impasse. Du coup, le lecteur est conduit à se demander s'il ne serait pas plus raisonnable d'aller directement à la solution qui, bien que remise en cause aujourd'hui en tant que solution unique et définitive, semble présenter moins d'incertitudes, à savoir l'enfouissement profond irréversible.

Comment peut-on expliquer cette situation paradoxale ? S'agit-il en fait de difficultés intrinsèques à la réversibilité ? Ou est-ce le résultat d'un processus - historique - qui s'est petit à petit construit, au fur et à mesure qu'un certain nombre de décisions

techniques et politiques ont été prises ? Il me semble que votre présentation écrite va plutôt dans le sens de la deuxième interprétation. Vous donnez vous-même des arguments pour montrer que notre absence de connaissances sur un certain nombre de points est liée à des décisions prises précédemment. Par exemple, vous dites « que le choix des sites finalement s'est fait en amont de cette question de la réversibilité. Il n'a pas pris en compte la question de la réversibilité dans le type de sites qu'on allait choisir ». Vous dites aussi « les modèles ont été conçus pour traiter de la question de la sûreté et pas pour traiter de la question de la réversibilité et en particulier des échelles de temps qui sont complètement différentes ».

En somme, une certaine forme d'articulation a été effectuée dans le passé entre des choix techniques et politiques et cette articulation débouche aujourd'hui sur des zones d'incertitude. Si la réversibilité n'est pas vraiment appropriable - on ne peut pas lever les incertitudes qui pèsent sur sa réalisation - c'est parce que les politiques menées dans les vingt dernières années en matière de développement scientifique et technique n'ont pas permis de construire les connaissances et les outils adéquats pour la gérer. Pour reprendre les métaphores du nucléaire, la réouverture de l'alvéole cognitive - qui s'est construite et refermée autour du stockage géologique profond et irréversible - engendre des coûts très importants : produire les connaissances qui seraient nécessaires pour construire la réversibilité du stockage aujourd'hui demande de lourds investissements.

Je ne sais s'il s'agit d'une intention consciente ou inconsciente, mais votre texte conduit à la conclusion que, dans l'immédiat, la réversibilité du stockage, c'est une fausse bonne idée : au lieu de permettre de gérer l'incertitude, elle la multiplie ; et compte tenu des directions suivies dans le passé, il va être très difficile et très coûteux de « remonter » le chemin et de réouvrir les possibles.

J'en suis arrivée à une conclusion différente, qui n'était peut-être pas celle à laquelle vous vouliez que les lecteurs arrivent : si je devais décider sur la base de votre description, je ne m'amuserais peut-être pas à remonter les étapes une à une, c'est-à-dire à trouver les moyens d'accumuler les connaissances nécessaires pour construire des stockages réversibles. Je prendrais plutôt un chemin perpendiculaire, en me disant qu'il vaut mieux développer des investigations du côté de l'entreposage plus ou moins pérenne : on a l'impression que cela engagerait beaucoup moins d'investissements, aussi bien cognitifs qu'économiques, que d'essayer de rendre possible le stockage réversible.

Je prendrais d'autant plus facilement cette décision que le déploiement, dans votre texte, des incertitudes en matière de stockage réversible produit un contraste extrêmement fort avec les certitudes qui sont avancées en ce qui concerne l'évolution à long terme du stockage géologique profond irréversible. À vous suivre, il serait beaucoup plus facile de raisonner à des millions d'années ou à des milliers d'années que de raisonner à cent ans. La non-experte que je suis a tendance à douter : « S'ils ne savent même pas ce que va produire la ventilation dans les cinquante prochaines années, comment peuvent-ils soutenir que dans dix mille ans, il n'y aura aucun problème ? ». Je ne prétends pas que les arguments n'existent pas qui permettraient de valider cette analyse ; cependant il y a une dissymétrie incontestable dans la présentation de l'argumentaire.

Cette dissymétrie semble reposer sur un postulat très fort dans votre communauté : « La géologie, on peut lui faire confiance », postulat qui reste implicite dans l'article mais a été explicité plusieurs fois aujourd'hui. Que ce postulat soit ou non fondé, la dissymétrie dans l'argumentaire crée un soupçon : pourquoi serait-on plus assuré pour le long terme que pour le court terme ?

Pour résumer le raisonnement sous-jacent à votre démonstration tel que je l'ai perçu, je dirais : le stockage réversible introduit de nouveaux risques, et finalement, beaucoup d'incertitudes ; donc retournons aux solutions de stockage irréversibles qui sont beaucoup plus sûres à tous points de vue. Raisonnement qui suscite une contre-proposition dès lors que l'on pense la réversibilité comme incontournable et qu'on est moins assuré des performances de la géologie : étudions sérieusement les solutions d'entreposage qui permettent à moindres frais de préserver l'avenir et de maintenir la surveillance.

Cependant, il me semble que votre texte contient aussi un autre message. À la fin, vous dites : « La compréhension du mécanisme pouvant influencer les décisions associées à la réversibilité sera acquise en continu y compris lors de l'exploitation du stockage. Par conséquent les instruments pourraient être apportés à la fois sur le plan technologique et dans les modèles conceptuels dérivés des études de scientifiques ».

La question même des prérequis est ici écartée : le travail sur le stockage réversible est une sorte d'expérimentation totale, puisqu'il s'agit à la fois d'expérimenter les décisions qu'on prend, les systèmes d'instrumentation, les systèmes techniques, etc. Cette déclaration donne une tonalité un peu différente à votre message ; du coup une autre question émerge : comment faire en sorte de maintenir la réversibilité cognitive et non pas tellement la réversibilité technique le long d'un parcours déjà bien balisé et qui pointe vers le stockage irréversible profond ? Si l'on tient pour acquis le fait qu'il y a un certain nombre d'incertitudes et qu'il est nécessaire de préserver une ouverture sur les solutions possibles, comment peut-on assurer des conditions de production des connaissances qui ne soient pas un facteur limitant pour penser et réaliser la réversibilité dans le futur ? Autrement dit, comment éviter de retomber dans les mêmes travers que précédemment, à savoir constituer des formes d'irréversibilités cognitives qui empêchent la réversibilité technique ?

Je n'ai évidemment pas de réponse précise à cette question ; cependant, quelques contributions mentionnent le fait qu'il y a d'autres solutions explorées dans certains pays, mais que ces solutions ne méritent pas d'être étudiées en France compte tenu des « choix politiques » déjà faits. J'aurais tendance à dire : soyons symétriques. Si l'on maintient la réversibilité des choix techniques, il faut aussi maintenir l'hypothèse qu'il y a une réversibilité possible des décisions politiques. Et du coup, je me pose la question de savoir pourquoi finalement dans la détermination des politiques de recherche, il n'y a pas aussi la considération d'un certain nombre de pistes qui sont ouvertes par les autres pays, autrement dit pourquoi la notion de réversibilité envisagée ici se trouve en quelque sorte encapsulée dans un diagramme qui pointe vers l'irréversibilisation progressive du stockage géologique profond.

Discussion générale

Sandrine SPAETER-LOEHRER

J'aimerais exprimer deux réactions surtout par rapport aux discussions de cet après-midi, que j'ai beaucoup appréciées pour diverses raisons.

À partir du moment où l'Andra ne tient pas compte du bénéfice parce qu'elle ne se les approprie pas et à raison, elle ne les considère pas, je vois difficilement comment on peut s'éloigner de la solution du stockage définitif comme la meilleure solution. Autrement dit, on a vu cet après-midi que partir de l'irréversibilité puis augmenter la réversibilité d'un côté, ça coûte de l'argent et, de l'autre côté, ça augmente les risques et l'incertitude. Partant de là, l'avis de l'Andra, sera que la réversibilité est une mauvaise chose. De deux choses l'une : ou il y a des bénéfices à la réversibilité et dans ce cas-là, effectivement, on met coût et bénéfice l'un à côté de l'autre et on compare. Ou il n'est pas légitime de poser cette question-là à l'Andra parce qu'effectivement ce n'est pas son job de tenir compte des bénéfices. Je n'ai pas la réponse. Mais je crois qu'on parle de réversibilité, du pour ou du contre. Or j'entends essentiellement parler du contre ici.

Et mon deuxième point concerne une question à monsieur Landais en rapport à sa présentation. Vous nous dites, clairement, que la sûreté c'est le point le plus important et, par exemple, qu'on ne choisit pas un site en fonction de sa capacité à permettre la réversibilité, mais pour des questions de sûreté - ce que je comprends très bien - et ensuite seulement, on voit ce qu'on peut faire en termes de réversibilité. Là aussi, je réagis très rapidement. Je me dis qu'une des questions peut être : « À une sûreté donnée, quel est le niveau de réversibilité que je peux accepter ? » La réponse va être immédiate « c'est zéro », parce que quitter l'irréversibilité, encore une fois, génère des risques qui, du coup, font diminuer la sûreté. Autre question alternative, je ne sais pas laquelle est la plus pertinente : jusqu'à quel niveau de sûreté puis-je descendre, quel est le niveau de sûreté minimal que j'ai le droit d'accepter ou que je peux accepter, techniquement parlant, politiquement parlant, socialement parlant, etc., qui me permet d'arriver à un niveau positif de réversibilité ? Dans votre exposé, j'ai l'impression que la sûreté passe devant. On se pose plutôt des questions que les ingénieurs se posent également dans d'autres domaines : « À coût donné ou à risque donné, quel est le niveau de réversibilité que je peux atteindre ? » Je ne sais pas si je suis très claire, mais je trouve que ce sont deux questions bien différentes. La question a évolué entre ce matin et cet après-midi.

Patrick LANDAIS

Elle n'a pas évolué, mais j'ai l'impression de ne pas réussir à faire comprendre un certain nombre de choses. D'abord le texte est volontairement différent de l'exposé. J'ai essayé d'aborder les choses sous deux angles. Un angle sans doute moins technique dans le texte, et ici un peu plus technique. Ici, j'ai donné un ensemble d'éléments techniques factuels, acquis, qui semblent dire : à la limite, plus c'est ouvert, plus c'est ventilé et mieux c'est. Y compris pour la sûreté à long terme. La majorité des analyses réalisées sur les différents processus d'évolution du stockage va dans ce sens à l'exception

notable de la corrosion par l'oxygène des aciers qui sera d'autant plus limitée qu'on isolera les surconteneurs de l'air de ventilation. Pour tous les autres processus, plus on chasse l'eau, qui est en fait le poison d'un stockage, et mieux c'est. Plus on est réversible passif, plus on est ouvert, plus on continue à ventiler. Plus on ventile, plus on chasse l'eau. Dans le détail, c'est un peu plus compliqué que ça mais globalement plus on désature, plus on retarde dans le temps, le retour de l'eau, qui de plus est très lent, plus on facilite la stabilité chimique des architectures.

Sandrine SPAETER-LOEHRER

Elle n'existe pas *de facto*, cette période où c'est fermé et ventilé ?

Patrick LANDAIS

Plus vous ventilez longtemps, mieux c'est.

Madeleine AKRICH

Juste par rapport à ça, le point vert, c'est quand on ferme. Il y a l'eau qui arrive et, du coup, je dirais qu'on se pose des questions sur la sûreté à long terme, sans connaître les détails techniques.

Dans votre papier écrit, il y a aussi pas mal de questions sur lesquelles vous dites que vous n'avez pas de réponse. Par exemple, sur la question de la déformation et de savoir exactement ce qui va se passer, quelles vont être les contraintes exercées. Vous dites que, sur les premières centaines d'années, c'est extrêmement difficile à déterminer, que la question de la récupérabilité est une question difficile à résoudre dans l'état actuel et que les modèles ne permettent pas de savoir à court terme ce qui va se passer.

Patrick LANDAIS

Une chose qui n'est pas dite c'est que, lorsqu'il existe une incertitude, on dimensionne les architectures de stockage de façon à couvrir ces incertitudes. Par exemple, tant qu'on ne connaît pas exactement, au dixième de microns près la vitesse de corrosion, on prendra en compte ces incertitudes pour calculer l'épaisseur d'acier afin de maîtriser les phénomènes. Si on en reste sur un point de vue purement scientifique, oui cette période de quelques milliers d'années est la plus complexe à représenter et modéliser. C'est au cours de cette période qu'effectivement toutes les perturbations se croisent et se superposent parfois. Plus tard elles vont disparaître avec le retour à l'équilibre du milieu géologique. Mais pendant ces quelques milliers d'années, oui effectivement, l'interaction entre les ouvrages de stockage et les déchets d'une part et le milieu géologique encaissant d'autre part est importante, c'est donc à ce stade que les difficultés scientifiques sont les plus fortes.

Maintenant, comme je vous l'ai montré sur un certain nombre de diagrammes, certains éléments sont acquis. On admettra aussi que l'avantage de s'intéresser à une période la plus courte (au regard de la durée d'un stockage), c'est qu'on peut réellement expérimenter. Une expérimentation durant vingt ans a une vraie signification vis-à-vis d'un processus se déroulant sur cent ans ou deux cents ans. Elle en a un peu moins sur un processus qui dure dix mille ans ou cent mille ans. C'est entre autres en cela que l'expérimentation en laboratoire souterrain prend tout son sens.

Pierre-Benoît JOLY

J'ai trois remarques. Je veux d'abord souligner l'importance de la réversibilité cognitive, évoquée par Madeleine. On sait bien que, dans tous ces domaines, il y a des effets d'apprentissage, par nature cumulatifs, qui entraînent des phénomènes de dépendance de sentier. On a donc, par concentration sur certaines voies, des phénomènes d'irréversibilités par absorption dans des états dont on ne peut se défaire. Je crois qu'on devrait intégrer explicitement cette notion dans l'analyse.

Deuxièmement, effectivement j'étais très intéressé par l'exposé de Patrick, qui montre bien la complexité des phénomènes. Mais je voudrais faire part de ma perplexité. On sait maintenant qu'on a des effets de perturbation importants dès lors qu'on fait des trous et qu'on passe un certain temps avec des trous ouverts. On sait aussi que les perturbations isolées ont des effets ambigus sur la préservation du confinement et que leurs interactions sont complexes. Mais ces perturbations valent aussi pour l'option du stockage puisque, pour des raisons d'exploitation, comme le disait Michel, il faudrait laisser les galeries ouvertes quelque trois cents ans. Cela fait quand même pas mal d'évaporation ! Maintenir les galeries ouvertes et surveiller l'évolution du comportement des colis peut alors être fort utile dans l'éventualité où certains phénomènes - par exemple la corrosion - sont plus rapides que ce que l'on a anticipé.

Et la troisième question, et là c'est vraiment une question de béotien, je trouve qu'on a une représentation qui est toujours des zones un peu réticulaires extensives. Je n'ai aucune idée, j'avoue mon ignorance, de ce qu'est l'eau à 500 mètres de profondeur dans cet environnement. Est-ce que ça circule ? Il y a des phénomènes de convection ? Il y a des phénomènes d'échange ? C'est un grand absent dans toutes les discussions qu'on a eu là. Est-ce que c'est important ou non ? Est-ce que ça ne remonte jamais ? En est-on certain à l'échelle de centaines de millions d'années ?

Patrick LANDAIS

Pour répondre à la dernière question, qui est vraiment très importante. J'ai dit que l'eau était sans doute l'élément le plus important du stockage. Il n'y a pas de convection parce qu'il n'y a pas de différence de pression et donc pas - ou peu - de moteur convectif. On peut le mesurer. Et puis l'eau, dans les milieux argileux, elle a au moins trois états : il y a de l'eau de structure qui est intimement liée au minéral argileux, et qui est absolument immobile dans les conditions géologiques ou celles du stockage. Ensuite, une eau dite « liée », qui est très fortement structurée autour du minéral argileux. Et puis enfin une eau dite libre, qui remplit les pores de la roche. Ces pores sont parfois suffisamment petits pour laisser passer trois ou quatre molécules d'eau, pas plus. C'est cette eau-là qui en fait nous intéresse. C'est celle qui peut permettre aux éléments (et en particulier ceux qui sont radioactifs) de se déplacer par un processus de diffusion dont le moteur est la différence de concentration.

Saida LAÂROUCHI-ENGSTRÖM

J'ai trouvé le raisonnement de Sandrine très intéressant mais ensuite très difficile pour, *a priori* - mais on peut poser la question aux parties prenantes - quel niveau de sûreté êtes-vous prêts à accepter pour avoir un certain degré de réversibilité ? Ayant mené des concertations, en Suède, pendant quinze années avec toutes les parties prenantes,

je n'ai jamais rencontré une personne qui était volontaire pour négocier quoi que ce soit sur le niveau de sûreté. On le veut au niveau absolu à tel point qu'on nous demande de trouver le meilleur bout de géologie en Suède. Si on faisait ça, on traite la Suède comme un morceau de gruyère. Là, on ne peut pas faire de concession du tout. On accepte de discuter les incertitudes que les scientifiques ne peuvent pas résoudre. En revanche, tout ce qu'on peut faire pour donner la sûreté la plus élevée, là on ne peut pas faire de concession. Même si je sympathise avec votre façon de voir, je trouve que c'est difficile de mener cette conversation avec le public.

Sandrine SPAETER-LOEHRER

Je comprends mais on peut la mener. Mais vous avez répondu à ma question. On ne veut pas perdre en sûreté. Si on suit l'hypothèse selon laquelle il y a substituabilité entre les deux - parce que c'est encore un autre point - la réponse est zéro réversibilité et sûreté maximum. Du coup, il faudrait discuter de la substituabilité. Mais votre point, je le comprends très bien.

Saida LAÂROUCHI-ENGSTRÖM

On a essayé quand même de travailler sur les incertitudes.

L'autre commentaire que j'ai, c'est sur les alternatives. On a commencé sur une fourchette assez vaste sur les alternatives, les différentes façons de traiter ces combustibles usés. Et on les a éliminées les unes après les autres, du moment qu'elles ne peuvent pas répondre aux questions des lois ou des conventions internationales ou des contraintes posées par les communautés locales. On a fini, finalement, par un stockage géologique profond. On n'a pas commencé par un stockage géologique profond, il y a une trentaine d'années. Et par la loi, on est obligé, d'ailleurs même par la directive européenne, de donner un exposé sur les alternatives qui ont été considérées une fois que l'on demande un permis de construire en amont. Ce qui fait que cette question d'alternative est absolument centrale et il est très important pour le citoyen de voir qu'on a vraiment tourné toutes les pierres et considéré toutes les alternatives.

Yannick BARTHE

Juste un point de détail. On a dit à plusieurs reprises qu'en fait le choix de sites de stockage n'a pas été effectué en fonction de la réversibilité. C'est tout à fait normal parce qu'à l'époque, il n'y avait pas d'impératif de réversibilité. Mais quand même, on peut se demander pourquoi après 1998 il n'y a pas eu à nouveau un choix de site de stockage correspondant davantage à l'impératif de réversibilité. En fait, il y en a eu. Vous me corrigerez si je me trompe, mais il me semble que la mission granite avait précisément pour objectif de choisir un nouveau site. Et, si j'ai bien compris, le granite est plus favorable à la réversibilité que l'argile. Le problème est que ce site n'a pas pu être trouvé.

Patrick LANDAIS

Non, l'argile est plutôt favorable à la réversibilité.

Yannick BARTHE

Moi j'ai compris que le granite se refermait moins vite que l'argile.

Patrick LANDAIS

L'argile (du moins celle que nous étudions à Bure) ne se referme que très lentement. Si vous regardez bien, les vitesses de convergence sont rapidement très faibles et difficilement mesurables au-delà de quelques dizaines ou quelques centaines d'années. Le granit, c'est vrai, c'est encore plus faible. Mais la vraie différence se situe avec le sel, parce que dans ce cas la convergence est forte. Dans ce cas on considère que la roche environnante va rapidement combler les vides autour des colis, emballer tout, et assurer un confinement rapide.

Jacques MERY

On sait bien que l'Andra fait des recherches top niveau sur la géomécanique. Et c'est un bénéfice externe pour la communauté scientifique y compris pour d'autres domaines. Mais la question qu'on peut se poser est : on a vu que le coût d'un stockage était de 15 milliards d'euros à peu près, est-ce que ça inclut le coût de toutes ces recherches qui sont menées, qui sont indéniablement très coûteuses ? On voit bien que c'est le top niveau de la science, donc il y a plein de thésards, plein d'instrumentation, etc. Est-ce que c'est compris dans les 15 milliards d'euros ?

Louis LONDE

C'est compris pour ce qui va venir à partir de maintenant, mais les coûts passés ne sont pas compris.

Quatrième partie



L'observation-surveillance du stockage

Stefan MAYER

Andra, coordinateur du programme d'observation et de surveillance

Aperçu des objectifs du programme d'observation et de surveillance

Le programme d'observation et de surveillance de l'environnement et des installations du projet HAVL (POSEI) regroupe les activités programmées par l'Andra pour concevoir et mettre en œuvre les systèmes et les moyens permettant d'observer et de surveiller les installations du projet HAVL (installations de surface, installations souterraines et milieu géologique, installations d'entreposage) et leur environnement de surface.

On notera que l'observation-surveillance de l'environnement de surface est entrée en phase opérationnelle dès 2007, tandis que les études rattachées à l'observation-surveillance des installations contribuent aux recherches et développements amont à une instrumentation et au suivi de ces installations. Pour l'environnement, l'Andra met en œuvre un Observatoire pérenne de l'environnement (OPE) ayant vocation à rester opérationnel jusqu'après la fermeture des installations du stockage, soit sur une durée excédant le siècle. Dans un premier temps, l'OPE doit répondre aux besoins de connaissances sur l'environnement avant préparation du Dossier de demande d'autorisation de création (DAC) : d'abord observer, connaître les zones sensibles, fournir les données susceptibles d'être prises en compte lors du choix d'une zone d'intérêt pour les installations de surface (ZIS), comprendre et au besoin modéliser le comportement et les interactions entre volets de l'environnement, ensuite établir l'état initial et fournir les données pour réaliser les études d'impact, ainsi que proposer des pistes pour d'éventuelles mesures compensatoires environnementales. Dès l'enclenchement de la construction, l'OPE garantira *a minima* la surveillance réglementaire de l'environnement et apportera aussi les données permettant d'apprécier les éventuels impacts du stockage. L'OPE sera illustré pour information des participants.

Dans le cadre de cette journée sur la réversibilité, le discours se focalisera sur les études de R&D liées à l'observation-surveillance des installations souterraines (bien que les installations d'entreposage aient aussi un rôle à jouer dans la gestion réversible). La présentation portant sur la définition du stockage réversible a introduit la notion d'observation et de surveillance des installations et la notion de surveillance des colis comme deux des trois modalités de gestion courante de ces installations et de ces colis : « Un suivi de l'état des ouvrages au cours de la période de réversibilité est recherché afin de renseigner la prise de décision lors des jalons successifs. » Le besoin d'un tel suivi a aussi été évoqué dans le cadre de la présentation « Montrer et démontrer la réversibilité. » Sur la base de difficultés de « démontrer la réversibilité » au préalable, il est nécessaire que « la compréhension de mécanismes pouvant influencer des décisions associées à la réversibilité sera acquise en continu », par l'intermédiaire de stratégies d'observation-surveillance aussi adaptées que possible.

Fournir les informations pour renseigner la prise de décision

Un élément clé des réflexions ressortant de l'appropriation de la notion de réversibilité par l'Andra au fil du temps est la « recherche d'ouverture dans la prise de décision ». Dans l'idéal, une gestion réversible voudrait préserver une liberté d'actions aussi grande que possible et rester flexible dans ses choix. Pour mémoire, ces choix portent soit sur une fermeture progressive des installations déjà exploitées, soit sur une temporisation en l'état, soit sur un retour en arrière, caractérisé par une réouverture d'installations fermées ou par la récupération de colis.

Les informations recherchées par l'observation-surveillance vis-à-vis de la réversibilité visent à mieux cerner cette liberté d'actions, déclinée techniquement en trois principales fonctionnalités :

- capacité à retirer les colis ;
- capacité d'actions sur le processus de stockage ;
- capacité à faire évoluer la conception.

Ceux-ci reposent principalement sur la conception des installations souterraines, des colis de stockage (pour les deux premiers) et sur la modularité de l'architecture (pour le dernier). En effet, les éléments techniques tels les jeux de manutention entre colis et ouvrages ou la durabilité des installations souterraines, ainsi que le respect de conditions d'environnement permettant d'agir dans ces installations sont prévus. L'observation-surveillance a plutôt un rôle de conforter les parties prenantes dans la maîtrise du comportement des installations et de préciser progressivement les connaissances afin d'évaluer les marges disponibles. Ainsi, les informations recherchées pour évaluer la « liberté d'actions » visent à :

- réévaluer la durée de vie des ouvrages et de la capacité d'y agir (plus précisément la durée pendant laquelle ils sont susceptibles de rester dans un domaine de fonctionnement accepté) ;
- réévaluer les évolutions des conditions d'environnement ;
- réévaluer le potentiel de manutention des colis pour un éventuel retrait.

Les informations recherchées sur les conséquences d'éventuels choix de gestion visent à :

- réévaluer la durée pour laquelle les conséquences des choix de gestion possibles restent neutres ;
- indiquer les risques que certains choix de gestion aient des conséquences négatives.

Les informations recherchées pour indiquer une nécessité de choix de gestion visent à :

- fournir une estimation sur la durée restante avant d'être contraint d'abandonner une ou plusieurs options de gestion ;
- fournir des informations à analyser pour en déduire les actions de maintenance à enclencher pour laisser les choix ouverts.

Afin de renseigner la prise de décision lors d'une gestion réversible, l'observation-surveillance contribue donc à fournir les informations susceptibles d'influer sur le processus décisionnel : la « liberté d'action » est-elle toujours préservée ? Pour combien de temps ? Ou au contraire les évolutions constatées sont-elles susceptibles d'imposer ou *a contrario* de fortement contraindre certains choix de gestion ? On notera que la « liberté d'actions » repose autant sur la durée de vie des ouvrages, etc., que sur les conséquences d'éventuelles décisions de gestion (y compris de la décision de rester en l'état).

Fournir les « informations » pour la sûreté de l'installation

Comme toute Installation nucléaire de base en exploitation, la sûreté repose en partie sur une surveillance. Son objet est de vérifier que l'installation reste dans son domaine de fonctionnement autorisé et le cas échéant d'alerter en cas de dérive. Ceci renvoie à l'analyse de la sûreté de l'installation et à la tenue à jour du référentiel de sûreté.

Enjeux particuliers à l'observation-surveillance d'un stockage réversible

Un élément clé réapparaît de façon récurrente, la longue durée de l'exploitation réversible et donc *a priori* la longue durée de l'observation-surveillance des installations souterraines. À cela vient s'ajouter l'impossibilité d'accéder aux alvéoles de stockage contenant des colis et aux ouvrages déjà fermés. En face, les moyens techniques disponibles pour instrumenter ne peuvent pour certains pas garantir une durée de fonctionnement longue.

Une autre contrainte susceptible de limiter les possibilités d'instrumentation est imposée par le respect des fonctions de sûreté. Les moyens d'auscultation ne doivent pas dégrader, de par leur présence ou leur fonctionnement, de façon significative les performances recherchées.

Comment peut-on alors répondre aux objectifs d'observation-surveillance ? D'une part, des pistes de R&D portant sur le développement de moyens d'auscultation innovants ou améliorés ont été lancées. D'autre part, des réflexions sur une stratégie d'auscultation adaptée au contexte d'un stockage réversible ont été initiées. Un élément clé de cette stratégie consiste à définir des ouvrages témoins, faisant l'objet d'une observation-surveillance intensive.

R&D pour se munir des outils adaptés à ces enjeux

Les développements envisagés ou en cours visent à améliorer la durabilité du fonctionnement d'un dispositif d'auscultation. On notera 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 les barrages hydrauliques depuis plus de cinquante ans). Une telle disponibilité de moyens durables n'est pas donnée pour d'autres types de mesures, en particulier les mesures chimiques. Des études sont engagées visant d'une part à combiner les technologies éprouvées avec des éléments susceptibles de fournir une mesure chimique, par exemple le taux de concentration d'hydrogène. Des études sur le développement de capteurs à fibre optique susceptibles de fournir des mesures chimiques sont également en cours.

Un autre 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 sur l'endroit précis où ces évolutions seraient susceptibles de devenir contraignants. Une piste particulièrement intéressante est le développement de mesures réparties sur une fibre optique unique. L'analyse du signal traversant cette fibre permet ainsi d'obtenir la répartition de température sur jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres de fibre. De plus, les développements en cours donnent confiance qu'une telle répartition peut aussi être mesurée pour la déformation locale.

Ce type de développement va aussi dans le sens de la « discrétion » des moyens mis en œuvre et donc *a priori* peut être 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 mettre en œuvre 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 pose pas si la décision de fermer une alvéole, un module, etc., engendre la décision d'abandonner toutes mesures dans les ouvrages fermés. *A priori*, ce ne sera pas le cas : les informations 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 qu'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 autant sur la distance de transmission et sur la durée de fonctionnement, qui est couplée à la gestion de l'énergie disponible.

Stratégie adaptée au déroulement global de la phase d'exploitation

Les quelques pistes de R&D évoquées ci-dessus ne pourront pas à elles seules répondre aux objectifs d'observation-surveillance. Il faut leur associer une stratégie d'auscultation afin de fournir les informations nécessaires à la gestion réversible. D'une part, le besoin d'ausculter le comportement des ouvrages doit être décliné en solutions techniques adaptées. D'autre part, un équilibre doit être trouvé entre l'intensité de l'instrumentation, la valeur ajoutée des informations susceptibles d'être fournies et le réalisme d'une exploitation.

Localement, le besoin d'information doit être satisfait (les mesures réalisées) avec un niveau de confiance suffisant. Globalement, ce besoin d'information peut être progressivement réduit dès lors que l'exploitation aura déjà montré que les évolutions sont cohérentes avec les attentes préalables, sont suffisamment similaires entre ouvrages du même type. Enfin, la stratégie d'auscultation doit s'intégrer dans le déroulement de la phase d'exploitation : construction progressive des ouvrages types (descenderie[s], puits, galeries souterraines, alvéoles, enfin bouchons, scellements et remblais), exploitation en parallèle des premiers ouvrages, fermeture selon les décisions prises dans le cadre de la gestion réversible.

En ce qui concerne l'évolution globale, dès lors qu'il s'agit de conforter les connaissances préalables à la construction et de détecter d'éventuelles dérives vis-à-vis de ces connaissances, il semble logique de prévoir une instrumentation intensive pour le premier ouvrage de chaque type. On parle alors d'ouvrage témoin, étant donné que les mesures *in situ* ont vocation à suivre les évolutions jugées importantes vis-à-vis de son domaine de fonctionnement.

L'intensité d'instrumentation du prochain ouvrage ou groupe d'ouvrages du même type à être construit pourra être décidée sur la base du retour fourni par le premier ouvrage témoin. En fonction des résultats, l'instrumentation pourra être adaptée ponctuellement (l'implantation et la répartition spatiale des moyens de mesure ainsi que le choix du matériel) et de façon plus globale (réduction de l'intensité du suivi sur le prochain ouvrage du même type).

Localement, le niveau de confiance en la disponibilité des mesures est augmenté par les développements préalables sur la durabilité. Elle reposera aussi sur une redondance des moyens mis en œuvre, fondée dans la mesure du possible sur différents principes de mesure.

Quelle valeur ajoutée pour les parties prenantes ?

La notion d'acceptabilité du stockage est souvent rapprochée du choix de mettre en œuvre une gestion réversible. Une notion similaire est associée à l'observation-surveillance, dès lors qu'on s'attend à « conforter » les attentes préalables, à convaincre progressivement du bien-fondé des choix de gestion (entre autres par l'intermédiaire des mesures *in situ* fournies). Peut-on alors dissocier les informations ou mesures

obtenues pour des raisons purement techniques de gestion, des informations obtenues pour des raisons purement d'acceptabilité sociale ? Y a-t-il de fait une attente des publics d'obtenir certaines données de l'évolution *in situ* ? Cette attente est-elle plutôt motivée par le besoin d'obtenir un gage de la transparence de la gestion ou plutôt par le besoin de disposer d'un outil supplémentaire vérifiant le bien-fondé technique et scientifique des choix de gestion ?

Discussion

Michel SETBON

Directeur de recherche au CNRS

Je voudrais d'abord dire quelques mots sur ce que j'ai vu et surtout entendu et revenir sur le choix politique de faire de la réversibilité une norme conditionnelle au stockage géologique profond. On ne peut éviter la question : « Pourquoi un tel choix ? »

Selon moi, ce choix est probablement la conséquence d'une perception sociale de la nature dangereuse voire risquée du stockage géologique profond. Le politique, c'est en fait dans sa nature, cherche à anticiper une inquiétude profonde du public tout en l'entretenant par la validation même du concept et l'exigence de réversibilité ; le tout en essayant d'assurer sa responsabilité, ce que les Anglo-Saxons appellent son *accountability*. La demande de réversibilité impose une norme qui vise à protéger les politiques des réactions sociales. Je l'entends comme ça. On peut la discuter. En même temps, la réversibilité affichée comme une norme impérative se présente - en tout cas peut être entendue - comme une réponse à un problème qui n'a jamais été énoncé. Autour de ce non-dit de « pourquoi fait-on de la réversibilité une norme ? » se cache toute la difficulté à en expliciter les fondements, les conséquences, etc. On n'a pas énoncé quel est le problème que l'on cherche à résoudre quand on met en œuvre une réponse de ce type qui, elle, a des inconvénients, des coûts, etc.

Il est donc difficile d'évoquer la nécessité de la réversibilité tout en laissant entendre qu'elle n'est là que pour faire face à des non-événements. C'est cette lacune qui va me permettre d'aller vers la question de l'observation et de la surveillance. Observer est un cadre général, mais que va-t-on surveiller ? Le souci de surveillance n'a pas été inventé sans tenir compte de la nature exceptionnelle de l'objet « déchets nucléaires » et de la terreur que cet objet soulève, souvent assimilé au nucléaire lui-même. Donc si on ne garde pas présent à l'esprit ce chemin qu'on peut qualifier de perceptif, mais qui a un fondement sociologique profond dans la terreur provoquée par le nucléaire, on ne comprend pas, en tout cas on ne peut justifier, la notion de réversibilité qui vient s'ajouter à celle, existante, de sûreté nucléaire.

Le concept de sûreté nucléaire ne peut constituer une garantie suffisante, parce qu'il n'est pas entendu par le public comme le synonyme ou la preuve d'absence de risque. De cela aussi, il faut en être conscient. La demande de réversibilité vient administrer la preuve que la sûreté nucléaire n'est pas suffisante pour assurer l'absence d'événement car le risque nucléaire lui-même existe malgré la sûreté nucléaire. La perception de ce risque est d'ailleurs amplifiée, réactivée, par la contradiction entre sûreté nucléaire et la fréquence, partout dans le monde, d'incidents ou d'accidents, autour du nucléaire. À partir de cette perception sociale négative du nucléaire, on peut se demander si le stockage géologique profond n'ajoute pas un autre danger - je parle du point de vue du public et du politique qui s'en fait l'écho - à leur propre nature qui le ferait ressembler - le stockage géologique profond - à une sorte de centrale nucléaire souterraine mais qu'on pourra réparer, démonter grâce à la réversibilité, si jamais...

si jamais quoi justement ? Alors c'est là qu'on en vient au concept d'observation et de surveillance qui vient concrétiser ce possible qui n'est jamais évoqué.

Sur la relation étroite entre les concepts d'observation et de surveillance, on peut s'accorder sur le fait que, si la surveillance ne va pas sans observation, surveiller n'est pas synonyme d'observer, c'est bien plus. C'est une fonction qui consiste à porter une attention particulière à des objets potentiellement générateurs de dommages. Je viens de la santé publique ; quand on surveille une maladie, quand on surveille un facteur de risque ou une population exposée, c'est qu'on s'attend à ce qu'il puisse se produire des effets dommageables. Quand on évoque le concept de surveillance, pas celui d'observation, c'est qu'on a à l'esprit et de façon fondée qu'il puisse se passer quelque chose. Donc l'observation-surveillance est l'outil, le médiateur, par lequel va pouvoir être mise en œuvre une forme possible de réversibilité. Mais le problème est que la surveillance se présente comme un outil sans unité ou échelle de mesure, sans définition de ce que l'on mesure ou surveille et des événements qui pourraient déterminer un choix plus ou moins important du niveau de la réversibilité. La réversibilité est donc posée comme une condition politique du stockage dont les opérateurs ont la charge de montrer la possibilité, sinon la faisabilité. Tout en considérant, de la part de l'opérateur, je veux dire l'Andra, que la réversibilité sous sa forme extrême (revenir à l'état d'origine) est une option hors sujet : la réversibilité totale sans limite de temps est illusoire, alors qu'elle est probablement perçue comme telle par le profane.

De façon concrète, l'observation-surveillance a pour fonction fondamentale de détecter des événements redoutés ou imprévus dont l'analyse pourrait déclencher une alerte. L'alerte représentant une première phase critique dont la nature et les conséquences pourraient mettre en jeu la réversibilité opérationnelle. Sinon, la surveillance n'aurait aucun sens et la réversibilité non plus, si ce n'est une fonction purement rhétorique, ce qu'il n'est pas impossible qu'elle ait aussi. Néanmoins, la question de l'alerte une fois posée, se pose celle de la réponse. On met des capteurs, on observe, on surveille et on détecte un événement qui paraît anormal par rapport à ce qui était attendu ou prédit. Que fait-on alors ?

Derrière le concept de réponse, se dissimulent plusieurs options potentielles en fonction du degré d'alerte, de l'accessibilité aux colis, de la phase dans laquelle on est, des risques liés à l'intervention : par exemple que faire si les alvéoles sont fermées ? La réversibilité a-t-elle été pensée comme un tout ou rien - je ne le pense pas - ou a-t-elle été pensée en fonction du moment, ouvrant la porte à différentes options de réversibilité qui seront retenues en fonction d'une analyse de l'événement anormal ? Rien n'est dit sur le processus qui conduira au choix du mode d'action qui suivra la détection d'un événement anormal issu de la surveillance.

Se pose ici la double question classique de la surveillance des facteurs de risque qui conduisent à une alerte. La question du seuil à partir duquel on décide de l'intervention : qu'est-ce qui va déterminer une possible intervention ? Sur quelles bases ? Et comment sera-t-elle établie ? Question aussi de l'évaluation du rapport bénéfique/risque qui a été quelquefois, mais trop rarement à mes yeux, évoquée par d'autres orateurs. Car ici, tout autant ou encore plus que dans la santé publique, on sait très bien que l'action sur

un risque - ou sur un danger qu'un capteur aurait identifié sous forme d'un événement anormal - peut déplacer le problème en créant ou en augmentant un autre risque. Ce transfert de risque est un phénomène transversal à l'ensemble des risques et de l'action sur le risque (*risks tradeoffs*). Que sait-on, que fait-on, que dispose-t-on en termes d'expertise pour pouvoir évaluer le bénéfice/risque de l'intervention *versus* celui de la non-intervention ?

Le dernier point concerne l'acceptabilité sociale. Il est bien entendu que je ne remets pas du tout en cause à travers ce discours tout ce que j'ai entendu, qui était relativement assez rassurant bien que parfois un peu cacophonique, mais j'essaie de me placer du point de vue du sociologue qui observe la société et essaye d'envisager comment elle pourrait réagir.

L'acceptabilité sociale se posera de façon différente en fonction des contextes dans lesquels les questions se poseront. D'abord, on va se trouver confronté à l'acceptabilité sociale que j'appellerai « *a priori* », celle qui est en jeu aujourd'hui et visée par le politique, à travers la mise en place de la norme de réversibilité, c'est-à-dire une acceptabilité théorique du projet d'enfouissement. Il est espéré que le public accepte le modèle proposé du stockage géologique profond, du fait qu'on y aura greffé l'exigence de réversibilité qui fournit une représentation rassurante, celle d'un stockage démontable, en tout cas qui serait perçu comme tel. S'il y a des problèmes, mais on ne dit pas lesquels, on pourra revenir à l'état initial, voire à l'état de nature, entendu comme un monde où les petits oiseaux chantent partout.

D'autre part, il y a l'acceptabilité sociale, une fois le stockage réalisé, face à un événement majeur du type incident, comme on en a sur les centrales nucléaires ou autour d'usines de retraitement de combustibles. On peut prédire que, quel qu'en sera l'impact réel - j'insiste sur ce point, la fragilité de toute évaluation objective jugeant de l'impact de l'événement sur la structure de l'enfouissement - il conduira à une crise majeure mettant à l'épreuve la question de la réversibilité : son opportunité, sa traduction, ses limites et ses conséquences.

En conclusion, l'ambiguïté autour de la réversibilité peut à la fois la rendre plus rassurante ou plus inquiétante, et rendre ainsi plus acceptable ou plus inquiétant le stockage géologique profond. C'est le premier point.

Le second point est que, compte tenu des enjeux énormes liés aux déchets nucléaires et des incertitudes qui ne sont pas minces sur les réactions des publics qui vont y être confrontés - réactions que le politique ne pourra ignorer et auxquelles il devra répondre pour réduire l'inquiétude et l'émotion suscitées - attendre 2016 avec pour seule arme le dossier technique apparaît risqué, voire suicidaire. Tous les travaux sur la perception du risque nucléaire montrent la nature exceptionnelle de cette technologie et son puissant impact émotionnel sur le public. Ne pas en observer les évolutions, ne pas en rechercher les déterminants et sa distribution dans le public, ne pas se préparer à les prendre en compte dans le débat, risque d'exposer ses promoteurs à une opposition contre ces choix technologiques, difficilement réversible.

Implications de la mise en œuvre de la notion de réversibilité

Bruno CAHEN

Andra, directeur maîtrise des risques

« Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée »
A. de Musset.

Aucune création humaine n'étant éternelle, la décision ultime de fermeture, inhérente à tout stockage géologique de déchets radioactifs, et, contrairement à un entreposage, est la seule à même d'assurer la protection de l'homme et de l'environnement [la sûreté] à très long terme, face aux aléas de la nature et des sociétés humaines. Dans son article 5, la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs stipule que :

« Le stockage de déchets radioactifs est l'opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive dans le respect des principes énoncés à l'article L. 542-1. »

La même loi affirme également que le stockage en couche géologique profonde doit respecter le principe de réversibilité. Mais comment un stockage géologique de déchets radioactifs peut-il être à la fois « potentiellement définitif » et « réversible » ? L'Andra est confronté à cette interrogation alors que les modalités de réversibilité du futur stockage doivent être définies par le législateur et la fermeture définitive du stockage ne peut être autorisée que par une loi.

Une question essentielle se pose aussi pour le concepteur qui est l'Andra : à quoi sert la réversibilité ? Sert-elle à laisser le choix aux générations futures entre fermer le stockage, ou le vider de son contenu pour une raison dont les motivations n'existent pas à ce jour ? La question est ouverte au débat, mais ses implications pratiques (techniques, organisationnelles, sociétales) sont fortes. L'attention des décideurs actuels et futurs doit être appelée sur les limites de faisabilité et la complexité induites par l'obligation de réversibilité. Ceci suppose de considérer à la fois les finalités de la réversibilité et son impact sur la sûreté. Si la réversibilité a pour objectif de conserver la latitude de modifier les choix de gestion dans le futur, cette souplesse vient en complément de l'objectif premier de la gestion durable des déchets radioactifs, qui consiste à stocker les déchets sans induire de risques non gérés par les choix actuels.

Les principes guidant la déclinaison de l'obligation de réversibilité à l'Andra sont ceux de la modestie et de l'adaptabilité, et suivre une approche prudente jalonnée de rendez-vous réguliers avec l'autorité de sûreté et avec le Parlement pour faire face à ces incertitudes.

Qu'est-ce qu'un « stockage définitif réversible » ? La réversibilité est une contrainte législative en apparence contradictoire avec l'objectif de stockage définitif des déchets radioactifs

D'après la législation et le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs en vigueur en France, le stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs est le stockage de ces substances dans une installation souterraine spécialement aménagée à cet effet, dans le respect d'un principe de réversibilité énoncé par la loi.

La loi du 30 décembre 1991 prévoyait l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue dans les formations géologiques profondes, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains. Quinze ans après, sur la base de l'étude de faisabilité d'un stockage profond de ces déchets élaboré par l'Andra et sur proposition du Gouvernement, le Parlement a adopté la loi du 28 juin 2006, qui fixe un calendrier de création et de mise en service (2025) d'un tel stockage.

La loi du 28 juin 2006 stipule que le stockage géologique est « potentiellement définitif » et « réversible » [art. 5]. Les modalités de réversibilité du futur stockage doivent être définies par le législateur. La fermeture définitive du stockage ne peut être autorisée que par une loi [art. 12]. Le contenu exact de ces obligations dépend de lois futures, ce qui est sources d'incertitudes pour le concepteur (l'Andra). Ajoutez à cela le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, qui prévoit bien que le stockage des déchets est réalisé « sans intention de les [les déchets] reprendre ».

Ce jeu d'obligations et de définitions a l'apparence d'une injonction contradictoire. En pratique, l'impératif de réversibilité, conceptuel, doit être décliné en dispositions concrètes et en étapes de gestion du stockage. Néanmoins, la compréhension intuitive de la réversibilité peut s'exprimer en une phrase « préserver la possibilité de retirer les colis de déchets tant que la décision de fermer définitivement le stockage n'est pas prise ». Des échanges restent nécessaires pour définir ces étapes et les modalités des décisions futures prévues par la loi du 28 juin 2006, de l'ouverture à la fermeture définitive du stockage.

Dès la conception du stockage, l'Andra s'est attachée à définir des étapes de réversibilité et des dispositions permettant d'assurer le passage d'une étape à l'autre. Dans le dossier de faisabilité d'un stockage géologique profond dans une couche d'argilite du Callovo-Oxfordien située en Meuse/Haute-Marne, présenté par l'Andra en 2005, l'Agence avait défini des modalités de réversibilité par étapes, permettant la synthèse entre l'obligation de réversibilité à tout moment, et la nécessité de progresser de manière sûre vers le stockage. Les solutions proposées sont suffisamment adaptables pour couvrir les incertitudes sur les décisions futures (lois, étapes de gestion) qui s'ajoute à l'objectif de fermeture définitive après l'exploitation, permettant d'assurer de manière totalement passive la protection de l'homme et de l'environnement à long terme, inhérente à tout stockage de déchets. Parmi ces incertitudes figurent les modalités de franchissement progressif des étapes vers une fermeture définitive du

stockage ainsi que l'éventualité d'une décision de retour en arrière d'un ou de plusieurs échelons sur une « échelle de réversibilité », elle-même à définir, allant potentiellement jusqu'au retrait des colis de déchets et leur remontée à la surface.

L'obligation de réversibilité a un impact significatif sur la conception du stockage, sur son cycle de vie et sa complexité, ainsi que sur sa sûreté, en exploitation et à long terme

Les choix techniques et les étapes du cycle de vie du stockage sont largement conditionnés par la notion de réversibilité et des rendez-vous réguliers avec des évaluateurs et des parties prenantes.

Les conditions et les objectifs de réversibilité conduisent l'Andra à proposer un stockage modulaire, évolutif et une gestion des incertitudes associées aux futures étapes de décision qui constitueront des jalons du développement du stockage jusqu'à sa fermeture définitive :

Plusieurs rendez-vous avec des autorités et des parties prenantes échelonneront le cycle de vie du stockage, suivis d'autant de décisions concrétisant une étape, une déclinaison concrète du concept de « stockage définitif réversible » :

- avant l'ouverture : révision du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR), tous les trois ans (à partir de 2006), instruction des options de réversibilité (2009), débat public (2013), instruction des dossiers de création et loi définissant les modalités de réversibilité (2015-2016) ;
- pendant l'exploitation : franchissement de niveaux de réversibilité décidés, jusqu'à la loi autorisant la fermeture définitive du stockage, sans compter les réexamens de sûreté périodiques, tous les 10 ans, exigés par la loi sur la transparence et la sûreté nucléaire du 13 juin 2006 pour le stockage géologique profond de déchets radioactifs, comme pour toute INB ;
- après la fermeture définitive du stockage : surveillance de l'évolution après fermeture, allant progressivement jusqu'à un dispositif totalement passif (aucune action humaine), toujours avec un réexamen décennal de sûreté basé sur la capitalisation du retour d'expérience de la surveillance exercée.

Réversibilité et adaptabilité : une adaptabilité limitée du stockage pour répondre aux incertitudes et aux risques supplémentaires induits par la réversibilité.

L'Andra a défini, lors de la conception du stockage, des dispositions permettant d'assurer la protection de l'homme et de l'environnement, sur le site et en dehors du site, pendant l'exploitation et après la fermeture définitive (à long terme). Ceci implique de comprendre l'évolution du stockage et de définir des moyens de surveillance et de contrôle institutionnel pendant l'exploitation, puis après la fermeture, allant

progressivement vers une sûreté totalement passive (sans intervention humaine). En effet, l'intervention humaine (Andra, autorités de contrôle, société, etc.) ne pouvant être garantie au-delà d'une certaine durée n'excédant pas quelques siècles, seul un dispositif de stockage totalement passif avant cette échéance est à même de répondre à l'objectif premier d'un stockage de déchets radioactifs ultimes : protéger l'homme et l'environnement sans distinction de génération. Ceci constitue une limite à la réversibilité.

Pendant l'exploitation, l'obligation de réversibilité implique un dimensionnement d'équipement pour des durées de vie plus longues, des opérations de maintenance plus nombreuses et plus lourdes. De même, prolonger la durée « d'ouverture » de parties du stockage, qui auraient pu être fermées plus tôt en l'absence d'obligation de réversibilité, peut accroître l'ampleur spatiale et temporelle de certains risques ou amplifier l'incertitude sur l'état « initial après fermeture » du stockage. Par exemple, laisser des galeries et des alvéoles « pleines » non totalement scellées et remblayées, même en l'absence d'une opération de retrait de colis, entraîne le maintien dans le temps d'un risque « gaz » ou « contamination » plus significatif. Pour les mêmes raisons, la prolongation de la perturbation (thermique, mécanique, hydraulique) du stockage constitue une source d'incertitudes accrues sur l'évolution future du stockage après fermeture. Ces risques et ces incertitudes sont gérables jusqu'à un certain point.

La conception retenue permet d'exploiter le stockage de manière progressive et suivant un processus d'évaluation itérative, ce qui permet d'intégrer les progrès scientifiques et techniques, le retour d'expérience de l'exploitation antérieure ainsi que la mise en œuvre de décisions successives qui interviendront pendant l'exploitation pour des motifs de réversibilité (franchissement de niveaux de l'échelle de réversibilité), sur tout ou partie du stockage, ou pour des motifs de réexamen de sûreté.

La combinaison de robustesse, de souplesse et de modularité permet d'envisager une succession de décisions futures par étapes et faire évoluer le stockage en fonction des décisions prises, de l'évolution des sciences et techniques, des modifications apportées par l'environnement socio économique. Afin de ne jamais obérer la sûreté, tant pendant l'exploitation que pendant une éventuelle opération de retrait de colis, qu'après fermeture définitive du stockage, il convient de définir des limites à la réversibilité selon plusieurs critères relatifs au stade du processus de stockage (durée de chaque phase de vie de parties du stockage), qui s'ajoutent à des paramètres plus évidents comme le « coût » de mise en œuvre d'une décision prise au nom d'un impératif de réversibilité.

La réversibilité vise à « revenir à un état antérieur » du stockage alors que les processus à l'œuvre (chimique, thermique, mécanique, radiologique, hydraulique) ne sont pas « réversibles ». C'est la possibilité de revenir chercher les colis de déchets, avec un sous-entendu « pour en faire quelque chose d'autre que de les laisser dans le stockage ».

En revanche, pouvoir récupérer un colis défaillant, ou assurer la sûreté à long terme malgré un colis défaillant après sa mise en œuvre n'est pas une disposition de réversibilité, mais de sûreté. En effet, l'exploitant (Andra) doit identifier les incidents

potentiels - dont les défaillances de colis - pendant l'exploitation et prendre les dispositions nécessaires dans deux domaines :

- réduire la probabilité qu'une défaillance se produise, par la conception des colis et du stockage, ainsi que par des dispositions de contrôle de la qualité des colis avant leur mise en ouvrage ;
- limiter les conséquences d'une éventuelle défaillance d'abord par des dispositions relevant de la conception du stockage (notions de robustesse et de tolérance aux écarts), mais aussi en se donnant les moyens de détecter des défaillances pouvant affecter la sûreté et d'intervenir si nécessaire.

Les risques liés à l'obligation de réversibilité : le diable est dans les détails ou dans l'indécision

Imposer une contrainte de réversibilité engendre des risques et des incertitudes supplémentaires, par rapport à un stockage dont l'objectif premier est d'être fermé dès que possible, module par module, pour passer aussi rapidement que possible dans un régime d'évolution à long terme stabilisé. Comme indiqué dans le chapitre précédent, ces risques (gaz, radioprotection, etc.) et ces incertitudes (évolution future du stockage) doivent être évalués, maîtrisés par des dispositions adéquates. Les limites envisageables sont des éléments utiles pour éclairer le débat précédant la prise de décision législative relative aux conditions de réversibilité.

La réversibilité, en pratique, permet de revenir en arrière totalement ou partiellement, sur simple décision, mais elle ne saurait constituer un palliatif à la convergence vers une solution de gestion à long terme assumée par notre civilisation comme pouvant être définitive. En effet, aucun concept de stockage actif ne permettrait d'assurer la protection de l'homme et de l'environnement à très long terme. Or, l'absence de choix de gestion assumée rendrait nécessaire un minimum de dispositifs actifs sans limite de durée (maintenance des installations *a minima*). Une indécision prolongée « dans l'attente d'un progrès technologique futur permettant de transformer les déchets », sans horizon temporel de concrétisation du progrès espéré, est difficilement transposable en termes de gestion sur le très long terme sauf à supposer la continuité du contrôle institutionnel à travers plusieurs millénaires.

L'absence de garantie absolue de maintien du contrôle institutionnel ne signifie pas pour autant l'absence de contrôle régulier. Le choix d'une solution potentiellement définitive n'exonère ni l'exploitant ni la société d'un retour d'expérience régulier. C'est sans doute pour ces raisons que la loi « transparence et sûreté nucléaire du 13 juin 2008 » [4] prévoit un réexamen régulier par l'exploitant [Andra], du début de l'exploitation à la fin de la phase de surveillance. L'autorité de sûreté nucléaire (ASN) rend un avis sur ce réexamen de sûreté produit par l'exploitant. Ces itérations successives, aussi souvent que nécessaire et *a minima* tous les dix ans, permet de vérifier que l'évolution constatée correspond aux prévisions et statue sur la nécessité éventuelle de modifier les dispositifs, après réévaluation du comportement du stockage « réel ». À la clé de

cette révision décennale, l'État peut imposer à l'exploitant, si l'ASN le juge nécessaire, une modification des conditions de gestion du stockage.

L'absence de décision sur le franchissement d'un niveau de réversibilité peut conduire à des opérations de maintenance lourdes et répétées. Les conséquences techniques, financières et sociales pourraient être difficiles à gérer.

Dès lors, comment prendre la décision d'un éventuel retrait des colis ? D'une manière générale, avant toute décision d'intervenir dans le stockage ou d'en modifier la conception ou les modalités d'exploitation, une analyse pesant les avantages et les inconvénients de l'intervention envisagée doit être conduite. Cette disposition, de bon sens, est en outre exigée par le PNGMDR en vigueur (chapitre 1.3).

La question de l'existence de points « de non-retour » pourrait se poser. En termes techniques, revenir chercher les déchets est toujours possible, même une fois le stockage fermé jusqu'à la surface. En revanche, le coût, la dose induite et les autres déchets créés augmentent *a priori* avec le temps et avec les « barrières » interposées progressivement entre les déchets radioactifs et la biosphère (homme et environnement) pour assurer la réduction autant que possible de l'impact à long terme des premiers sur cette dernière.

A contrario, reporter dans le temps des travaux et des décisions permet, à court terme, des économies financières et apporte un certain confort aux décideurs face à des choix souvent difficiles et très peu « réversibles ».

Enfin, n'oublions pas que quels que soient les progrès technologiques et scientifiques futurs qui permettront de poursuivre la tendance historique à réduire le volume ou la dangerosité des déchets radioactifs, il restera toujours un volume non nul de déchets radioactifs à vie longue à isoler de l'homme et de l'environnement à l'aide un dispositif (stockage) jugé définitif et protecteur des générations futures par la civilisation qui en a la responsabilité à un instant donné.

Gérer les risques induits par la contrainte de réversibilité

Pour maîtriser les risques que l'obligation de réversibilité peut faire peser sur l'objectif premier d'un stockage géologique de déchets radioactifs, il apparaît nécessaire de considérer tant les objectifs de la réversibilité que l'impact (sur la sûreté, sociétaux, économiques, techniques, etc.) des choix de dispositifs et de franchissement d'étape de réversibilité.

Un outil de « mesure » et d'aide à la décision partagé, avec des limites identifiées.

Une des modalités pratiques de déclinaison de la réversibilité partageable et compréhensible par tous est la constitution d'une échelle de réversibilité. Cela suppose que chaque « niveau » correspond à des situations simples et industrielles connues et extrapolables dans le temps. Chaque niveau de réversibilité correspond à une situation

techniquement maîtrisée et stable pendant une durée suffisante pour conduire les réflexions, et les débats précédant le choix de franchir l'étape suivante ou de revenir en arrière.

Des limites (temps, technique, radioprotection, coût, etc.) restent à identifier et à examiner avec toutes les parties prenantes, le cas échéant avec des consensus et des dissensus, avant la prise de décision par chaque acteur compétent (exploitant, autorité de sûreté, Parlement, Gouvernement, etc.). Pour aider à la prise de décision, un dispositif de surveillance/d'appréciation de l'évolution de la situation est nécessaire.

L'échelle et le dispositif de mesure sont des références communes, relatives et non absolues, avec leurs méthodes d'évaluation et leurs « seuils ». Il reste à déterminer quels pourraient être les critères et les seuils d'alerte éventuels aidant à la décision d'aller vers la fermeture du stockage ou au contraire de revenir en arrière.

L'existence d'une méthode d'évaluation des avantages et des inconvénients du franchissement d'une étape de vie du stockage, dans le sens de la fermeture comme dans celui de la marche en arrière, est également nécessaire pour objectiver les débats avant la prise de décision. Une telle méthode doit être simple, mais ne peut s'affranchir de critères multiples. Comment comparer des euros, des incertitudes croissantes, des doses « réelles » reçues pendant l'exploitation, des doses « potentielles » futures et des risques d'incident lors d'opérations de reprise de colis ? Impossible. En revanche, on peut chercher à évaluer plusieurs options selon chacun de ces critères, avant de choisir l'une d'entre elles. Décider en connaissance de cause peut être anxiogène, mais agir sans expliciter, même qualitativement et succinctement, les paramètres essentiels d'impact de la décision (ou de l'absence de décision) ne constitue pas une alternative crédible.

Réfléchir avant d'agir, mais pour aller dans quelle direction ?

« Quand on ne sait pas où l'on va, il faut y aller ! ... et le plus vite possible. »
Devise shaddock.

Un stockage n'est pas un entreposage, dès lors à quoi sert la réversibilité ? À permettre des choix futurs différents des choix actuels, dans le respect de l'objectif permanent de protection de l'homme et de l'environnement avec un souci d'équité intergénérationnelle en l'état actuel des connaissances.

La réversibilité a donc pour objectif de conserver la latitude de modifier les choix de gestion dans le futur. Encore faut-il que le choix de retrait des colis s'accompagne de la possibilité de définir un usage à ces derniers. Quelle serait sinon la solution de gestion définitive des colis de déchets remontés à la surface ? À défaut, la réversibilité se réduirait, *ex post*, au report d'une décision de fermeture.

La décision de revenir en arrière dans le processus de stockage, pouvant aller jusqu'à retirer les colis de déchets après mise en stockage, quelle que soit la motivation de cette décision, nécessite une analyse préliminaire des avantages et des inconvénients des

opérations correspondantes (ouverture d'alvéole sous atmosphère d'hydrogène, etc.). Cette analyse porte en particulier sur l'impact du retrait en termes de radioprotection, sur les risques à très long terme pour l'homme et pour l'environnement (tant par rapport aux déchets concernés que vis-à-vis du reste du stockage) et, le cas échéant, de déchets induits. Les gains attendus du retrait des colis seront alors mis en balance des inconvénients induits, motivant la décision de poursuivre ou non.

Il est indéniable que la souplesse du stockage, sa modularité sont des avantages décisifs. Si à l'avenir la nature des déchets ultimes, ou leur quantité, devaient évoluer, les alvéoles de stockage pourraient être adaptées pour recevoir ces futurs déchets. Certaines limites techniques telles que les dimensions des colis, l'inventaire total en radionucléides, le volume total de déchets, etc., existent cependant une fois le périmètre du stockage défini et les accès construits.

De même, si les solutions de gestion définitive des déchets évoluaient de telle sorte que les déchets ultimes du futur ne seraient pas destinés au stockage actuellement en projet, les déchets déjà stockés au jour de la décision de changement de gestion pourraient être laissés dans le stockage en attente de fermeture de ce dernier, ou retirés si tel était le choix des gestionnaires dans le futur.

Cela implique, toutefois, que des possibilités réelles de progrès technologique existent. Quelles seraient les conséquences en termes de réversibilité si, au jour de la mise en stockage du dernier colis de déchets, aucun progrès technologique n'est acquis justifiant le retrait pour réutilisation ? Ne faudrait-il pas considérer aussi les choix ou les décisions qui sont de nature à augmenter les incertitudes futures et à rendre les décisions ultérieures plus difficiles ?

Références

1. Loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs. Disponible sur www.legifrance.gouv.fr.
2. Décret du 16 avril 2008 relatif au plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Disponible sur www.legifrance.gouv.fr.
3. Document de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) : « Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde ». Indice 0 du 12 février 2008, constituant une mise à jour de la « RFS III.2.f » de 1991. Document disponible sur le site de l'ASN : http://www.asn.fr/sections/rubriquesprincipales/textes-reference/acces-par-type-texte/regles-fondamentales/guides-asn-rfs-relatifs/RFS_III2f.

Discussion

Francis CHATEAURAYNAUD

directeur d'études à l'EHESS

Je suis le dossier nucléaire depuis pas mal de temps d'un point de vue assez distancié. Le travail que je fais, avec d'autres, dans mon labo, consiste à suivre un nombre suffisamment important de dossiers critiques ou en tout cas à controverses. Cela permet d'essayer d'élaborer des petits modèles de sociologie afin de voir ce qui fait que ça bascule, que ça engendre des disputes ou non, que ça produit des normes, que ça produit des mobilisations, etc. Évidemment, parmi les dossiers les plus saillants, il y a le nucléaire, mais il y a aussi les OGM, les nanotechnologies qui sont entrées récemment dans notre champ, ou encore la téléphonie mobile - ce sont tous des dossiers à rebonds -, il y a également les pesticides, ou l'amiante, dossier qui n'est pas du tout fini, contrairement aux apparences. Le fait de suivre une multiplicité de dossiers présente quelques avantages, car ça permet de voir au fond ce qu'il y a de spécifique - et de contraindre un peu la désignation de configurations plus générales. Il s'agit au fond de s'affranchir du risque de tropisme lié au fait d'avoir vraiment le nez collé dans un seul domaine ; et dans le même mouvement de s'interroger sur le degré de généralité des concepts.

J'ai vérifié hier soir, le thème de la réversibilité trace un sous-domaine très spécifique, car il est vraiment connecté aux déchets nucléaires, et assez peu développé ailleurs. On aurait pu le penser. Par exemple, dans le cas du terme d'irréversibilité, ce n'est pas le cas. Le thème de l'irréversibilité est très présent dans les controverses autour des OGM par exemple. C'est même un des gros arguments de nos amis de la confédération paysanne et autres : « Attention, ils vont provoquer une irréversibilité des cultures transgéniques, on ne pourra plus revenir en arrière ». C'est l'idée catastrophiste du point de non-retour, redéployée par Jean-Pierre Dupuy dans son *Catastrophisme éclairé...*

La démarche adoptée est donc celle d'une sociologie comparative. Comparative mais pragmatique, puisqu'elle consiste à regarder de près ce que font les acteurs dans leurs champs d'actions. La question de la réversibilité surgit publiquement dans le dossier nucléaire à partir de 1991, c'est très net, et elle est saisie par des acteurs très particuliers, surtout des acteurs institutionnels. On en a parlé ce matin et l'histoire a été très bien faite, on peut remonter à pas mal de rapports, à l'Office parlementaire, à la CNE par exemple ou d'autres rapports. L'Andra, évidemment, fait partie des porteurs de cette notion, que l'on retrouve également sous la plume des sociologues. Tout ça converge dans le compte rendu du débat public sur les déchets radioactifs fin 2005, début 2006. Autrement dit, il y a un monde particulier qui s'est organisé autour de ce concept. Du coup, ça nous oblige un peu - et j'anticipe sur le troisième point - à quand même essayer de sortir un peu et de voir si cette notion est utilisée dans d'autres dossiers. Une doctorante du GSPR, qui travaille à l'Ineris, étudie les processus de concertation autour des projets de stockage de CO₂. Dans l'idée de stockage, il y a bien quelques points communs avec ce qui nous préoccupe ici. C'est lié au milieu, à la géologie - et j'ai beaucoup apprécié le topo sur le milieu tout à l'heure, c'est vraiment décisif. Dans les différents dossiers, selon les milieux concernés par le

risque, on n'a pas du tout les mêmes jeux d'acteurs et d'arguments qui fonctionnent. Apparemment, quand il s'agit de stocker des choses, de les enfouir, de les enterrer, etc., la question de la réversibilité a l'air d'être plus pertinente. Alors est-ce qu'il y a un effet d'apprentissage qui vient de ce qui s'est construit autour des déchets nucléaires, réappliqué sur d'autres objets, en l'occurrence le stockage de CO² ou autres ? C'est à creuser, si j'ose dire. Il me semble que nos discussions seraient enrichies si on essayait de disposer, en contrepoint, d'autres dossiers, pour faire jouer la comparaison et bien comprendre ce qui est en jeu de manière spécifique.

Tout à l'heure, il a été dit que, dès qu'il y a le nucléaire, on est dans une logique d'exception. Ce n'est plus tellement vrai, car, de ce point de vue, les OGM ont largement pris le dessus. Aujourd'hui, en France - je ne suis pas du tout un amateur de sondages - quand on regarde sur les forums, les différents lieux où la parole publique circule plus ou moins librement, on note qu'il y a beaucoup plus d'ambivalence sur le nucléaire que sur les OGM. Donc, on voit bien qu'il ne s'agit pas du tout de positions essentialistes sur certains objets. Ça se déplace et ça dépend complètement du rapport entre représentation publique - rapport de force - et type d'acteurs qui interviennent.

J'en viens au texte de référence proprement dit. J'ai bien aimé la manière de saisir ou de présenter le travail de l'Andra comme la résolution technique d'un parallogisme, d'une antinomie entre deux exigences présentées comme contradictoires. À ce propos, il faudrait vraiment revenir aux textes et regarder tous les débats parlementaires qui ont précédé la loi Bataille et les textes suivants. Ce principe de réversibilité a quand même été discuté, il y a eu des choses qui ont été dites. On nous dit que l'on va vers un stockage définitif, plus exactement « potentiellement définitif ». Cet usage de « potentiellement » est fort intéressant, et même un peu bizarre. Le recours à ce type d'adverbe sert à maintenir une forme d'incertitude, au cas où ça se retournerait. Et, d'un autre côté, le principe de réversibilité est posé comme une contrainte forte, indiscutable.

En sociologie, la notion de réversibilité ne va pas de soi. Je l'avais travaillée avec un linguiste à qui j'avais soumis le problème à propos de la formule courante : « Il est déjà trop tard ». Je lui ai soumis l'analyse sémantique de cette formule, et dans la conjonction de « déjà », « trop » et « tard », il m'avait dit : « Cela implique pour l'énonciateur qu'il y a un moment t₀ à partir duquel on ne pourra plus agir ». Et il me disait, « La réversibilité, c'est quand on peut revenir en arrière ». Ainsi, quand on commence à engager une notion de réversibilité, Manuel Zacklad le rappelait ce matin, on se réfère à une flèche du temps qui ne nous laisse pas le choix, puisque le temps passe et on tend inéluctablement vers quelque chose. Pragmatiquement, cela veut dire qu'il y a un moment pour l'action, et, au-delà de ce moment, une fermeture des possibles : on ne pourra plus agir, on ne pourra plus revenir en arrière. Il me semble qu'une grande partie des ambiguïtés du principe de la réversibilité va jouer sur plusieurs choses : soit, il s'agit en fait de dire : « On peut se donner un temps dans lequel on va choisir entre plusieurs options ». On le voit bien avec les modalités de stockage, de quelle manière on procède, comment on consulte, ce qu'on pourra transformer plus tard. À une époque, il y avait même des hypothèses qui parlaient de balancer des déchets dans l'espace - il y a constamment des options qui s'ouvrent,

d'autres qui se ferment. Soit, dans une autre logique temporelle, on revient à un temps antérieur, ce qui est quand même très fort puisque ça suppose d'inverser la flèche du temps, c'est le fameux chemin inverse qui est quand même très bizarre d'un point de vue philosophique puisque le temps, lui, continue à aller dans un sens et un seul. Il faut alors retourner le processus : comme dans une marche arrière. La partie passée est désormais devant nous. C'est une façon de construire le précédent futur, revenir dans une situation antérieure...

Tous les conservatismes en politique drainent cette fameuse idée de restauration, ou de remettre les choses à leur place, de remonter le temps - essayer par exemple de suspendre l'euro et de revenir au franc ! Il y a donc deux ou trois modèles temporels qui sont en concurrence et qui, à mon avis, méritent d'être bien précisés. La solution de l'Andra, si j'ai bien compris, c'est une troisième version de la réversibilité, qui consiste à dire : on fait un agenda, en se calant sur les contraintes légales qui nous sont imposées et on découpe en phases. On a des phases, des étapes, ça a été dit à plusieurs reprises. Et ce qui est appelé réversibilité - et du coup, moi je trouve que c'est assez clair ici - ce sont des moments où, pour passer à l'étape suivante, il y a un débat public, une décision politique, une controverse scientifique, une évaluation ; peu importe le type d'épreuve mais en tout cas c'est réversible, dans le sens où il n'y a pas de passage automatique et fatal d'une étape à l'autre. Vous voyez, nous avons au moins trois versions : l'ouverture croissante des possibles ; l'inversion du processus ; la décision qui n'est pas jouée et qui a lieu à un point de basculement précis. Et celle que vous choisissez quand vous vous repliez sur vos savoir-faire techniques, c'est la troisième puisque c'est celle qui vous permet d'être carrés à la fois vis-à-vis des contraintes légales et de l'évaluation de la sûreté, etc., et en même temps de vous adapter au calendrier politique. C'est quand même extraordinaire, surtout pour les sociologues, car c'est un des rares dossiers où on a vraiment le futur qui est déjà annoncé. On sait qu'il y aura un débat public en 2013, on peut préparer nos thésards !

En revanche, les deux autres notions qui sont en tension renvoient plus à des philosophies de l'Histoire ou à des conceptions de l'Histoire. Je peux citer à ce propos un philosophe politique que j'aime bien, Claude Lefort, qui justement permet d'expliquer en tout cas une partie de la critique radicale qui est générée par la question de l'enfouissement des déchets nucléaires. C'est quelque chose qu'on avait décrit avec Jean-Michel Fourniau dans un travail fait pour EDF en 2005-2006 sur les débats publics nucléaires. EDF nous a interdit de diffuser le rapport alors qu'on ne fait qu'analyser le débat public mais je peux le faire circuler, il y a prescription ! On avait essayé de comprendre ce qui alimentait la critique radicale et le doute sur le sens des débats publics en matière d'énergie nucléaire. Claude Lefort dit : « L'histoire et la démocratie ne sont possibles que si les acteurs assument une certaine indétermination de ce qui va se produire ». Il emploie le terme d'« indétermination », c'est-à-dire que rien n'est joué, rien n'est déterminé. La « détermination », c'est l'objectif du totalitarisme pour Claude Lefort. Ce qui est visé, et ça apparaît dans certains points des textes : un site sans histoire, passif, ça suppose un micrototalitarisme, c'est-à-dire quelque chose qui est totalement verrouillé, totalement contrôlé, cadré de bout en bout et où il n'y aura plus d'histoire. C'est la fin de l'histoire. En fait, l'Andra a cette lourde charge d'arbitrer entre choisir l'historicité et donc entrer dans des conjonctures complexes avec des acteurs qui

associent à la réversibilité, la démocratie participative, le principe de précaution, etc., ou au contraire d'assumer, que pour les déchets en tout cas, il s'agit de proposer une solution finale, une fin de l'histoire.

Le nucléaire, ce n'est pas seulement une question de peur irrationnelle endémique liée à la radioactivité, même si celle-ci a fortement marqué les seventies et bien avant aux États-Unis. C'est aussi et surtout la critique du régime politique, de la possibilité d'un pouvoir central omniscient, qui a le pouvoir de configurer le monde et de créer des enceintes confinées sur un modèle militaire. En France, c'est particulièrement vrai, parce qu'il y a toujours cette fracture épistémologique contre laquelle s'organisent, en vain, de multiples acteurs. L'asymétrie des pouvoirs pose évidemment le problème de la citoyenneté, de la société civile, etc.

Réfléchir sur cette tension-là me paraît central car, lorsqu'on mélange les deux ou les trois logiques de réversibilité, évidemment ça produit ces moments qu'on a eus dans la journée où on ne sait plus très bien, si finalement, ce n'est pas au fond que de la rhétorique - ça été dit tout à l'heure - parce qu'évidemment les politiques se calent sur le futur en disant : « Moi, je n'ai jamais pris la décision ». Cela peut être évidemment la question de l'histoire dont on veut avoir la maîtrise - maîtrise collective sur le futur.

Je finis sur quelques propositions. Je pense que parmi les choses à faire et à partager, c'est d'abord une histoire relativement claire sur les vingt à trente dernières années de l'évolution des argumentaires. Il faut être capable de savoir comment les choses se sont déplacées, quels acteurs se sont saisis d'un certain nombre d'arguments. Ce qui permet de comprendre les formules - j'en ai relevées un certain nombre. C'est vrai que dans un texte de science dure, il y a des formules qui sont parfois étonnantes : « Seul X peut Y ». Dès qu'on fait une petite opération d'abstraction, on voit que tout dépend de la manière dont sont posés X et Y. Si je dis par exemple : « Seul un sociologue peut se tromper à ce point », vous avez une relation qui est exactement la même, mais vous voyez que vous ne faites pas la même opération logique que si vous dites par exemple « seul un dispositif de stockage entièrement passif est à même de répondre à un objectif premier du stockage de déchets ».

La banalisation de ces opérations et de ces formules a une histoire. C'est-à-dire qu'à un moment donné, des formes d'articulation entre les objets, les entités, les mondes, s'installent dans le répertoire commun et des acteurs les réutilisent ou les développent à l'intérieur d'autres formules et opérations. Il est important de le mettre en histoire parce que ça permet aussi de comprendre sur quoi la critique peut s'engouffrer, comment les controverses et les conflits se nouent. Par exemple, pour juste faire une comparaison avec le cas des OGM : si on n'a pas vu comment s'installait le principe d'équivalence en substance qui faisait qu'il n'y avait pas, pour leurs promoteurs, à distinguer un OGM d'un non-OGM, notamment à travers les règles de l'OMC, on ne comprend pas pourquoi la contestation a été aussi forte. L'indiscernabilité du point de vue des consommateurs est devenue un problème majeur. On voit bien que là, dans le cas de nos affaires de déchets, c'est analogue. Il convient de regarder comment les entités sont installées. Aucun X ne permettrait Y. Aucun concept de stockage actif ne permettrait d'assurer la protection de l'homme et de l'environnement. Comment ça

s'installe ? Comment c'est repris ou défait par des acteurs ? Je trouve que ça c'est un programme qui ne peut être que collectif, et il est important de partager ce genre de description en retraçant l'évolution des acteurs et des arguments.

Stefan MAYER

D'après vous, l'Andra n'aurait pas intégré les résultats du débat public. Pourquoi vous dites ça ?

Loïc BLONDIAUX

On constate en effet cette manière exclusivement technique de penser le problème de la réversibilité, c'est-à-dire votre difficulté à traduire les exigences politiques qui sont derrière ce principe ou en tout cas de les traduire d'une manière très allusive ou très dubitative. Ça c'est la première chose. Et puis j'ai le sentiment, qui me semblait véhiculé par le texte que j'avais à discuter, que le raisonnement était un raisonnement qui était mené exclusivement par vous, depuis le début, avec cette certitude que vous seuls serez capables d'arriver à la solution finale. Peut-être que je me suis trompé.

Bruno CAHEN

Je trouve ça intéressant, ce que vous venez de dire, parce qu'effectivement l'une des difficultés liées à la déclinaison de la notion de réversibilité est que nous sommes un peu seuls à travailler sur cette déclinaison. Nous sommes très preneurs de construction collective sur ce sujet puisque, de toute façon, il est prévu *in fine* une loi. Et l'un des risques, si cette construction collective, cette mayonnaise ne prend pas avant l'échéance - parce que cette échéance est déjà fixée par la loi - est que ça reste un débat relativement bilatéral. On va dire, entre l'Andra qui a sa position quelle qu'elle soit, peu importe, et un pouvoir politique au sens large : un Gouvernement qui a fait projet de loi parce que c'est prévu comme ça et derrière le Parlement qui le reprend, on décide sans passer par la construction collective avec les gens qui derrière vont devoir décliner, appliquer, et vivre les conséquences de ce projet. Ça, c'est une difficulté. Mais vous retrouvez un parallélisme avec la difficulté qu'on a eue à comparer la gouvernance de la gestion à long terme des déchets radioactifs avec d'autres thématiques.

On parle du stockage géologique profond des déchets radioactifs, on travaille autour d'un objet quasi unique. Ce qui serait intéressant, c'est de voir comment se positionnent soit les « coûts » du stockage (au sens général d'externalités négatives et non de coûts financiers), soit les analyses coûts/bénéfices par rapport aux OGM, par rapport aux ondes de fréquences (lignes DHP, téléphone portable) ou alors la comparaison avec d'autres déchets : dans un CET, un centre d'enfouissement technique de déchets dangereux, à la différence d'un déchet nucléaire, le stockage de déchets dangereux, on ne le prend pas en compte dans le temps à très long terme, mais seulement pendant trente ans (après fermeture du stockage). Le stockage n'est pas réversible à une exception près. Ce n'est pas forcément très bien défini d'ailleurs en termes de procédure de sécurité et il est difficile d'aller au-delà, de franchir ce cap-là. Je pense que le débat public n'a pas tout exploité complètement ces aspects mais aussi faute de combattant.

Michel SETBON

Vous avez dit : « On est un peu seuls pour porter ce dossier ». J'ai entendu « porter ce dossier au-devant des questions que pose la société », pas simplement sur le plan technique, mais de le rendre compréhensible, accessible à la population, « partager » ce dossier, c'est cela. J'ai l'impression qu'en focalisant trop sur les problèmes de la réversibilité, on oublie d'expliquer, de justifier que le problème, c'est les déchets nucléaires. Ce n'est pas la réversibilité. Donc, montrer en quoi les solutions innovantes de stockage géologique profond par rapport à l'existant sont une réponse à un problème, plus qu'un nouveau problème, ne me paraît pas pris en compte. Plutôt que d'aller chercher des comparaisons avec d'autres modèles d'enfouissement - cela n'a rien à voir - de déchets un peu toxiques ; il y en a partout, sauvages ou pas sauvages, qui ont une durée de vie plus ou moins longue. Ce n'est pas une préoccupation qui affleure, sauf que le déchet nucléaire représente maintenant la menace majeure qui grève tout le développement de l'industrie nucléaire. Montrer que l'enfouissement géologique profond, avec ses avantages technologiques, est plus performant, cela impose de reconnaître que l'on est face à une matière dangereuse. En disant que vous apportez quelque chose de plus, vous êtes vus comme un moins, actuellement.

Bruno CAHEN

On ne peut pas se permettre l'absence de solutions provisoires. Je l'ai dit sans doute trop tard.

Michel SETBON

Voilà. C'est cela qui me touche particulièrement, vous êtes porteurs d'une solution à laquelle vous croyez, c'est bien mieux que de laisser les choses en l'état. C'est bien ce que j'ai entendu. Certains même, avec qui j'ai discuté de façon parallèle, m'ont expliqué qu'au bout d'un certain temps, il n'y a plus de problèmes de réversibilité. Il y a toute une explication, à la fois technique et comparative avec l'état existant, qui est absente du discours. Cela me semble être le premier pas, je ne sais pas comment, pour introduire...

Marie-Claude DUPUIS

Excusez-moi, vous dites « absente du discours », d'aujourd'hui ou en général ?

Michel SETBON

Non, c'est ce qu'on entend : le déchet nucléaire, c'est le diable. Et là, on est en train de dire qu'on a abordé la réversibilité parce que c'est effectivement dangereux d'enfouir sans être réversible. Vous voyez le problème que l'on a à multiplier la perception négative.

Michel CALLON

Je voudrais réagir à ce qu'a dit Michel. Je ne suis pas complètement d'accord avec lui. L'introduction de la notion de réversibilité a constitué une réponse qui a d'ailleurs mis beaucoup de temps à être articulée, aux critiques, à la fois techniques ou politiques, qui étaient adressées à la solution de l'enfouissement profond. On ne peut pas dire que l'Andra oublie la solution de l'enfouissement profond. Non, l'Andra, à la demande de la loi, élabore une argumentation pour montrer que l'éventail des choix est plus grand après

l'introduction de la réversibilité qu'il ne l'était avant. C'est cela, fondamentalement, qui est en jeu.

Je voudrais réagir à ce que tu as dit Francis, dans ton exposé. Ce qui m'étonne un tout petit peu, c'est l'existence d'un lien très étroit, et exclusif, entre réversibilité et nucléaire. Si c'est vrai, ça change considérablement la manière de gérer la question de l'irréversibilité dans l'espace public. Cela veut dire que le débat va vraiment se concentrer sur le nucléaire *stricto sensu*. Il ne va pas y avoir une généralisation du genre « on est dans une société d'irréversibilité, qui conduit à des micro- ou macrototalitarismes ». Si la notion de réversibilité s'appliquait à des dossiers différents, cela ferait une agrégation de causes difficile à gérer. Si elle ne s'applique qu'au nucléaire, le débat peut être plus serein.

Je suis étonné que tu n'aies pas trouvé dans ta base de données d'autres occurrences de la notion de réversibilité. Les économistes, pour s'en tenir à eux, sont intervenus très tôt sur la question, à propos des problèmes d'environnement. La théorie des options de Claude Henry, en 1974 je crois, posait à sa manière la question de la réversibilité : puisqu'il s'agissait de donner une valeur au fait de maintenir certains choix ouverts et donc pour éviter les irréversibilités prématurées. Je suis tout de même assez étonné qu'on ne trouve pas cette notion de réversibilité dans les questions environnementales, en général.

Francis CHATEAURAYNAUD

Il y a des objets et des enjeux qui sont plus ou moins réversibles évidemment. Mais là je parle du terme de réversibilité, lequel n'est pas particulièrement investi avant la mise en politique des déchets nucléaires. On trouve l'idée que quelque chose est réversible, comme attribut, à un moment donné, dans une dispute environnementale, par exemple une pollution du Rhône, tout ce qu'on veut ; il y a des maladies irréversibles, beaucoup de choses comme cela, des dégâts irréversibles, mais la réversibilité, comme entité pleine et engagée de manière autonome n'est pas investie positivement comme une solution politique ou technique qui va permettre de traiter un dossier. Cela surgit vraiment avec les déchets. Quant à l'irréversibilité, elle est très liée à une vision noire du futur, la référence c'est Hans Jonas.

Yannick BARTHE

Je voudrais revenir à ce que disait Michel Setbon. Je suis toujours un peu surpris quand on dit que le déchet nucléaire fait peur à la société, que c'est le diable en personne. J'ai l'impression au contraire qu'actuellement, par rapport aux années précédentes, la gestion des déchets nucléaires n'est pas considérée comme le problème le plus grave et le plus urgent, mis à part peut-être dans les zones concernées directement par un centre de stockage. Je crois que ce n'est pas du tout un danger qui fait véritablement peur, et ce n'est pas la peur qui est à l'origine des oppositions. J'aimerais donc savoir sur quels travaux, sur quelles données Michel Setbon s'appuie pour dire cela.

Michel SETBON

Tous les travaux publiés sur la perception du risque nucléaire montrent une peur, qui, au moindre accident, remonte massivement.

Marie-Claude DUPUIS

Moi, ce que j'ai entendu dire, c'est qu'il y a très peu, dans ces publications, de perception du nucléaire, dans les dernières années.

Yannick BARTHE

Ce sont les biais classiques des sondages d'opinion. On demande aux gens : « Est-ce que vous accepteriez de vivre à côté d'un centre nucléaire ? » Ils ne s'étaient peut-être jamais posé la question, mais répondent non. Les sondeurs en concluent alors que les peurs du nucléaire sont très importantes...

Michel SETBON

Je ne parle pas des sondages, mais des publications sur les accidents, en Suède, etc., ce qui a été publié, quantifié, etc. Ce sur quoi je suis d'accord avec toi, c'est que la perception du nucléaire est en train de se modifier. À l'heure actuelle, de par des phénomènes que l'on connaît bien, de l'énergie propre, du réchauffement climatique, du changement climatique, etc. Mais c'est une des sources de risque qui, au moindre incident, produit une recrudescence du rejet, de la perception négative du nucléaire à tous les coups. Donc le déchet peut être assimilé à ça, puisqu'il est la composante majeure et, comment dire, éternelle, du problème de la production d'énergie.

Francis CHATEAURAYNAUD

Il faut bien distinguer les différentes formes d'investissement public de la figure de l'accident. Le nucléaire n'a pas le monopole de la surmobilisation, notamment médiatique. C'est pareil dans l'aviation civile : or, statistiquement parlant, il n'y a pas de mode de transport plus sécurisé. On sait en même temps que cela peut changer demain, évidemment. Un crash suffit à provoquer des choses assez profondes. Chez les professionnels, c'est tout de même comme cela que fonctionne la sécurité, le moindre accident fait l'objet d'une analyse collective mondiale immédiate et d'un relevé extrêmement précis des paramètres de l'accident. Et, dans le public, cela produit immédiatement des effets. On pourrait consacrer une journée à regarder de près ces affaires d'« opinion », de « représentation », ou de « perception », en partant par exemple du baromètre de l'IRSN et en croisant avec d'autres formes de construction des publics et de leurs visions des dangers et des risques...

Michel SETBON

La singularité du transport aérien, c'est que d'abord les accidents sont rares. Statistiquement, c'est un des moyens de transport les plus sûrs, et ça ne produit pas un déplacement de la population qui se mettrait à utiliser d'autres moyens de transport, ou qui énonce par diverses formulations que sa perception est nettement affectée. Il y a des événements qui sont de nature à générer des pics de rejet, de non-acceptabilité ; le nucléaire en fait partie, jusqu'à présent.

Saida LAÂROUCHI-ENGSTRÖM

C'est une expérience très intéressante d'écouter un peu comment on raisonne autour de la notion de réversibilité en France. Je voudrais quand même mettre cela dans un contexte où par exemple on a l'impression que la réversibilité est un sujet très important pour la gestion des déchets nucléaires en France, à haute activité.

Il y a aussi un focus très dur sur la sûreté à long terme. Or, et je pense que vous allez rencontrer cela lorsque vous commencerez les concertations sur le plan local, vous n'allez pas rencontrer beaucoup de discussions sur la réversibilité.

Chez nous, et en Finlande, la réversibilité a été discutée à travers une élite. C'étaient des groupes environnementaux, des chercheurs de sciences, comme Patrick les a nommés. Cela a été une discussion très intéressante et très enrichissante pour nous. Mais le grand public a d'autres intérêts, c'est la sûreté, c'est l'incertitude vis-à-vis d'un problème à résoudre pour cent mille ans avec des modèles. Ce sont vraiment des problèmes de conception de ce que l'on essaie de leur offrir comme solutions. La réversibilité, comme telle, n'est pas vraiment au centre de la discussion avec les parties prenantes ; cela a été une discussion entre l'industrie et une élite. Je ne sais pas si c'est le cas en France. Ce serait très intéressant de voir, quand vous allez commencer vos concertations.

Clôture



Clôture

Marie-Claude DUPUIS

Directrice générale de l'Andra

Pour conclure cette journée d'études, je souhaite avant tout vous adresser à tous mes remerciements. Je remercie les équipes de l'Andra qui ont réalisé ce travail, pour expliquer les réflexions menées à l'Agence sur ce thème de la réversibilité. Je remercie également les discutants, qui ont pris le temps de nous écouter et de réagir. Je voudrais enfin remercier nos invités, et tout particulièrement les membres du Comité d'expertise et de suivi de notre démarche d'information et de communication, qui nous conseillent sur les deux projets de centres de stockage que nous menons actuellement.

J'espère que ces débats vous auront au moins convaincus que le thème de la réversibilité est un enjeu majeur pour l'Andra. En votant une loi qui instaure le principe de réversibilité du stockage, le législateur a souhaité avant tout répondre à une demande sociale et donner du temps au temps. Il faut du temps pour convaincre les citoyens qu'il s'agit en effet de la bonne solution. Ceci étant, les principes de cette loi s'imposent à nous. Je voudrais donc rappeler que cette loi impose une durée minimum pour la réversibilité de cent ans, et qu'elle conditionne l'autorisation du stockage géologique par le gouvernement à la promulgation d'une nouvelle loi fixant les conditions de réversibilité. Il convient également d'ajouter que la fermeture définitive du stockage ne pourra être autorisée que par une loi.

La réversibilité, il est vrai, a été parfois évoquée lors du débat public sur les déchets radioactifs en 2005. Le dossier remis par l'Andra au Gouvernement en 2005 montre bien que l'Agence et ses équipes ont déjà longuement réfléchi à ce thème majeur. Mon sentiment est que nous n'avons pas été compris. Les ingénieurs qui ont travaillé sur le sujet et rédigé le dossier ont donné une traduction technique de la réversibilité, que je trouve excessive, qui consiste à dire : « La réversibilité, du point de vue technique, c'est prévoir la possibilité de retirer les colis de déchets en employant les mêmes moyens que ceux utilisés pour les déposer ». Après le vote de la loi de 2006, lors d'une intervention publique, Claude Birraux, député et membre de l'Office parlementaire de l'évaluation des choix scientifiques et technologiques, interrogé sur les conditions de réversibilité du futur stockage, a répondu : « Comme cela a toujours été le cas pour la recherche sur les déchets radioactifs depuis la loi de 1991, le Parlement fait confiance aux scientifiques pour proposer des solutions : on attend de l'Andra et de ses partenaires scientifiques qu'ils nous proposent des solutions sur les conditions de réversibilité ».

Voilà donc notre « feuille de route ». Nous avons devant nous ce fameux rendez-vous législatif, et nous devons continuer à travailler sur nos concepts. Je voudrais éviter que l'Andra fasse l'erreur de donner à la notion de réversibilité une traduction technique qui ne correspond pas à la demande politique et sociétale qui nous est faite. Le sens de cette journée d'études est avant tout de vous inviter à travailler avec nous sur les réponses qu'il est possible d'apporter à cette demande. Ces réponses ne sauraient être purement techniques. Il nous faut bien garder en mémoire que la loi sur les conditions de réversibilité arrive en fin de processus, après 2015.

Nous devons d'abord faire des propositions, définir le stockage, avant de parler de la loi. Face à cette exigence, des réflexions ont été initiées au sein de l'Andra. Nous sommes repartis des notions présentées dans le Dossier 2005, qui développait la réversibilité comme la possibilité de récupérer techniquement les colis de déchets, mais aussi comme impliquant une progressivité de la décision. Nous avons œuvré pour rendre ce concept plus compréhensible, et de ce travail est née l'idée d'une échelle de réversibilité. C'est là une première donnée, qui peut servir de point de départ pour la réflexion.

Au niveau international, les positions sont partagées. En mai 2006, lors d'une conférence internationale, j'ai interrogé mes collègues et homologues étrangers sur l'approche de la réversibilité dans leur pays. Les réponses furent évasives. Depuis, les choses ont commencé à évoluer. Les pays qui relancent un programme nucléaire - comme le Canada et plus récemment le Royaume-Uni - annoncent en même temps qu'ils reprennent les recherches sur le stockage géologique avec l'exigence de récupérabilité des déchets. Les décideurs politiques s'intéressent à cette approche de stockage réversible, comme me l'ont confirmé récemment encore des collègues japonais, car cette approche permet de rassurer les populations.

J'ai proposé à mes collègues de travailler au niveau international sur la réversibilité du stockage non pas pour imposer la réversibilité au niveau international, mais pour mieux partager les différentes approches. Saida Laârouchi-Engström évoquait la question de la réversibilité au niveau local. Lors d'une réunion du Clis à Bure, une personnalité locale m'a objecté que le stockage suédois était bien plus réversible que celui imaginé par l'Andra, alors même que les autorités suédoises assument l'irréversibilité. Ils l'assument, parce qu'il est admis au plan international - du moins chez les scientifiques - que la sûreté à long terme d'un stockage géologique repose sur sa fermeture définitive. Un stockage géologique est fait pour être fermé afin d'assurer de manière passive la sûreté.

Aujourd'hui, plusieurs pays ont accepté de discuter du concept de réversibilité - récupérabilité des stockages géologiques dans le cadre d'un groupe de travail de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) au sein de l'OCDE. Un calendrier a été établi. Il est prévu de produire un guide de référence au niveau international en 2012, qui présente les différentes approches, avec leurs limites, leurs avantages et leurs inconvénients. Je souhaite que la France soit une force de proposition pour nourrir les travaux qui aboutiront à l'édition de ce guide. Un rendez-vous important est d'ores et déjà programmé en 2010 avec l'organisation d'un colloque international par l'AEN sur ce sujet de la réversibilité. L'AEN a accepté que ce colloque se tienne en France. Je souhaiterais que la communauté scientifique française et, bien entendu, l'Andra, contribue aux réflexions.

Pour préparer ce rendez-vous, l'Andra organise un colloque interdisciplinaire du 17 au 19 juin 2009, à Nancy. Je souhaite que l'Agence ne soit pas la seule à parler lors de ce colloque, et que les représentants de sciences dures ne soient pas les seuls à s'exprimer sur le concept de réversibilité. Aujourd'hui, nous faisons donc appel à vous pour faire de ce premier colloque national un moment de réflexion marquant,

lors duquel nous pourrions nous écouter mutuellement. L'Andra viendra présenter l'état de ses réflexions. Nous sommes tout à fait disposés à entendre la communauté des chercheurs en sciences humaines et sociales, pour nous éclairer sur les choix qui s'offrent à nous, dans la définition de la réversibilité. Le législateur ne nous a pas imposé de stockage réversible dans les centres de l'Aube. Alors, on pourrait se demander, pourquoi l'exige-t-il quand il s'agit de stockage profond ? On peut avancer la longue durée de vie des déchets susceptibles d'être stockés en formation géologique profonde. Cette question nous amène à d'autres interrogations, sur la temporalité et les échelles de temps.

Il est évident que nous avons des difficultés à échanger avec les populations, notamment avec les personnes qui résident à proximité de nos centres ou dans les zones susceptibles d'accueillir un centre de stockage, à leur expliquer nos concepts et les échelles de temps. Nous pouvons toujours expliquer que les géologues ont l'habitude de manier les milliers ou les millions d'années... mais nous avons du mal à convaincre, à construire la confiance quand nous évoquons les échelles de temps sur lesquelles nous travaillons. Je continue de penser que la temporalité est une question très importante - je crois d'ailleurs savoir que le CNRS a décidé de travailler sur ce sujet, qui n'est pas très éloigné de la réversibilité.

La question sur la temporalité amène celle de la mémoire, qui suscite aujourd'hui des débats intéressants. Comment conserver la mémoire sur le long terme ? C'est un vrai sujet de réflexion.

Je conclurai sur la question locale. Mon sentiment est que le problème de la réversibilité du stockage a très peu été pensé dans sa dimension locale, territoriale. Cependant, nous serons éclairés sous peu, puisque le Comité local d'information et de suivi (Clis) de Bure va prochainement créer des groupes de travail thématiques. Le conseil d'administration du Clis a retenu quatre thèmes : la réversibilité, l'environnement et la santé, l'implantation industrielle du stockage, l'information et la communication.

Je souhaite en tout état de cause pouvoir aborder l'échéance parlementaire dans les meilleures conditions. Il nous faudra faire des propositions au Gouvernement, car c'est lui qui préparera le projet de loi. Je voudrais éviter avant tout un débat qui se limiterait à fixer la durée de la réversibilité à cent, deux cents ou trois cents ans. Je souhaiterais que l'on inscrive dans cette loi à venir un processus de décision de fermeture progressive du stockage. Il existe plusieurs niveaux de réversibilité, plus ou moins faciles techniquement, qui vont jusqu'à la simple récupérabilité des colis de déchets, avec plusieurs modalités et niveaux de décision possibles. C'est cela que j'aimerais retrouver dans la loi de 2016, et c'est à nous de le construire.



AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION
DES DÉCHETS RADIOACTIFS
1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
tél. : 01 46 11 80 00
www.andra.fr