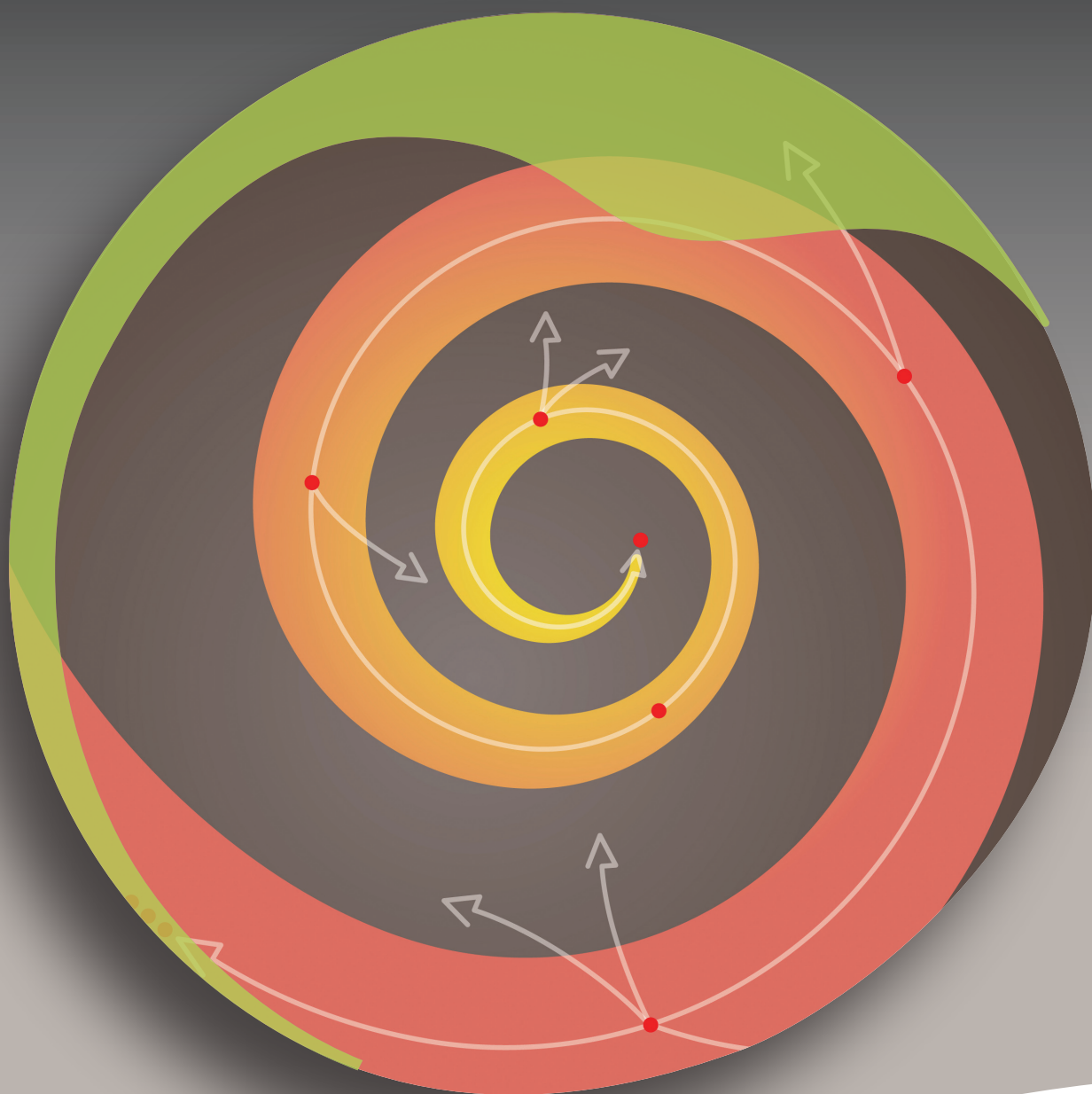


Stockage réversible profond

ÉTAPE
2009

OPTIONS DE RÉVERSIBILITÉ DU STOCKAGE
EN FORMATION GÉOLOGIQUE PROFONDE



Options de réversibilité du stockage en formation géologique profonde

SOMMAIRE

Table des illustrations	5
Résumé	7
1. La démarche pour définir les conditions de réversibilité	9
1.1 Une démarche ouverte	10
1.2 L'appropriation progressive de la notion de réversibilité	12
1.3 La réversibilité dans le Dossier 2005	14
1.3.1 L'approche proposée par l'Andra	14
1.3.2 Les recommandations des évaluateurs du Dossier 2005	15
1.3.3 Les suites du débat public	16
1.4 La prise en compte de la demande de réversibilité dans le cadre de la loi du 28 juin 2006 et du Guide de sûreté	17
1.4.1 Le principe de réversibilité dans la loi du 28 juin 2006	17
1.4.2 Le Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde	17
1.5 Les études et recherches scientifiques et techniques	18
1.6 L'information et le dialogue	20
1.7 Synthèse des échanges	23
2. Les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue	25
2.1 Introduction	26
2.2 Les déchets de haute activité (HA)	27
2.3 Les déchets de moyenne activité à vie longue (MAVL)	30
3. Le stockage en formation géologique profonde	33
3.1 Introduction	34
3.2 Fonctions de sûreté du stockage	34
3.3 Description générale du centre de stockage	36
3.4 Esquisses de chroniques de stockage	40
4. Les options de conception en support à la réversibilité	43
4.1 Options de conception HA	44
4.1.1 Le conteneur de stockage	44
4.1.2 L'alvéole et le module de stockage	46
4.1.3 Les procédés de manutention pour la mise en place et le retrait des colis	47
4.1.4 L'analyse phénoménologique	48
4.1.5 Dispositions envisagées pour l'observation-surveillance des alvéoles HA	49
4.2 Options de conception MAVL	51
4.2.1 Le conteneur de stockage	51
4.2.2 L'alvéole de stockage	51
4.2.3 Les procédés de manutention pour la mise en place et le retrait des colis	53
4.2.4 L'analyse phénoménologique	57
4.2.5 Dispositions envisagées pour l'observation-surveillance des alvéoles MAVL	57
4.3 Entreposage en soutien à la réversibilité	58

4.4	<i>Observation-surveillance du stockage</i>	59
5.	Le processus décisionnel en support à la réversibilité	61
5.1	<i>Le pilotage du processus de stockage</i>	62
5.2	<i>Le développement progressif du stockage et sa fermeture par étapes</i>	63
5.3	<i>Une échelle pour échanger sur le processus décisionnel</i>	65
5.4	<i>Premières propositions concernant le processus décisionnel et la durée de réversibilité</i>	69
5.4.1	Propositions concernant le processus décisionnel	70
5.4.2	Durée(s) de réversibilité	71
6.	Les études et recherches sur la mémoire	73
	Annexes	77
<i>Annexe 1 :</i>	<i>Discours d'introduction au colloque interdisciplinaire sur la réversibilité (Nancy, 17 juin 2009)</i>	78
<i>Annexe 2 :</i>	<i>Rapport d'activités 2008 du Comité d'expertise et de suivi de la démarche d'information et de consultation</i>	80
<i>Annexe 3 :</i>	<i>Intervention de la CNE lors de la réunion du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sûreté nucléaire - 8 octobre 2009</i>	87
<i>Annexe 4 :</i>	<i>Projet de rapport « La réversibilité pratique du point de vue des acteurs du territoire »</i>	91
	Références bibliographiques	99

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 2.1-1	Répartition à fin 2007 du volume et du niveau de radioactivité par type de déchets radioactifs produits en France (Andra, 2009f)	26
Figure 2.2-1	L'atelier pilote de Marcoule APM (source CEA)	28
Figure 2.2-2	Conteneur standard de déchets vitrifiés (CSD-V)	28
Figure 2.2-3	Décroissance de la puissance thermique du colis-type C1 dans le temps (Andra, 2009d)	29
Figure 2.2-4	E-EV-SE à La Hague (source Areva)	29
Figure 2.3-1	Vue intérieure de l'entrepôt intermédiaire polyvalent EIP et fût EIP en acier inoxydable de 380 litres (source CEA)	31
Figure 2.3-2	Bâtiments de l'entrepôt CEDRA à Cadarache (source CEA)	31
Figure 3.3-1	Exemple d'implantation possible des installations de surface et souterraines	37
Figure 3.3-2	Principe de transfert des colis HA en alvéole de stockage	38
Figure 3.3-3	Principe de mise des colis MAVL en alvéole de stockage (cas du pré-empilage à l'entrée des alvéoles)	39
Figure 3.4-1	Simulation du flux journalier de la mise en alvéole des colis de stockage des déchets HA et MAVL, pour une mise en stockage des déchets HA fortement exothermiques au plus tôt (en nombre de colis de stockage par jour)	41
Figure 3.4-2	Simulation du flux de mise en alvéole des colis de stockage, pour une mise en stockage des déchets HA fortement exothermiques à un âge de l'ordre de 90 à 100 ans	41
Figure 4.1-1	Colis de stockage HA pour colis primaire type R7-T7	45
Figure 4.1-2	Corps de surconteneur percés-étirés avant usinage	45
Figure 4.1-3	Alvéole HA (vue en coupe longitudinale)	46
Figure 4.1-4	Module de stockage HA	47
Figure 4.1-5	Test de retrait d'un colis HA dans un alvéole fortement déformé	48
Figure 4.1-6	Instrumentation d'un alvéole HA témoin	50
Figure 4.2-1	Illustration d'un colis de stockage MAVL	51
Figure 4.2-2	Alvéole MAVL (vue en coupe longitudinale)	52
Figure 4.2-3	Illustrations de sections d'alvéoles MAVL adaptées aux différents types de colis	53
Figure 4.2-4	Synoptique du processus de manutention des colis par préempilage (l'opération de mise en place d'une pile de colis est représentée)	55
Figure 4.2-5	Principe de manutention individuelle des colis MAVL par chariot élévateur (en haut) ou pont gerbeur (en bas)	56
Figure 4.2-6	Instrumentation d'un alvéole MAVL	58
Figure 5.2-1	Illustration du développement progressif du stockage	64
Figure 5.3-1	Niveaux du projet d'échelle de récupérabilité	66
Figure 5.3-2	Evolution de la facilité de retrait et de la passivité de l'installation en fonction du niveau dans l'échelle	68
Figure 5.3-3	Choix de gestions possibles pour un alvéole au niveau 2	68
Figure 5.3-4	Exemple d'enchaînement possible de décisions pour un groupe de colis.	69
Figure 5.4-1	Zones et sous-zones HA et MAVL du stockage	71

RESUME

Conformément au décret fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (décret n°2008-357 du 16 avril 2008), l'Andra doit proposer en 2009 des options de réversibilité. Ces options orientent la phase suivante d'études et de recherches pour préparer le débat public puis le dossier de demande d'autorisation de création du centre de stockage. Elles servent également de support aux échanges avec les évaluateurs et les parties prenantes.

Le présent rapport est structuré de la façon suivante : la démarche pour définir les conditions de réversibilité est présentée au chapitre 1 ; les chapitres 2 et 3 présentent de manière générale, d'une part les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MAVL) ; d'autre part le stockage en formation géologique profonde ; les options de conception et le processus décisionnel en support à la réversibilité sont présentés respectivement aux chapitres 4 et 5 ; les études et recherches concernant la mémoire du centre de stockage sont décrites au chapitre 6.

La démarche pour définir les conditions de réversibilité

La réversibilité est une demande sociale et politique. Elle a émergé progressivement dans le cadre du processus d'études et de recherches mis en place par la loi du 30 décembre 1991, qui envisageait « *l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes* ».

La loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs (loi n°2006-739) prévoit la poursuite des études et des recherches sur le stockage réversible en couche géologique profonde de telle sorte que son autorisation puisse être instruite en 2015. La réversibilité du stockage devra être assurée, à titre de précaution, pendant une durée minimale qui ne peut être inférieure à cent ans. Les conditions de réversibilité seront fixées par une nouvelle loi, qui sera votée après l'instruction de la demande d'autorisation et avant que l'autorisation de création du centre de stockage ne puisse être délivrée par décret en Conseil d'Etat pris après enquête publique.

Le Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde publié par l'Autorité de sûreté nucléaire en 2008 souligne par ailleurs que « *les dispositions prises pour assurer la réversibilité du stockage ne doivent pas compromettre la sûreté en exploitation et la sûreté après fermeture de l'installation de stockage* ».

D'ici 2015, il appartient donc aux scientifiques de poursuivre les études et les recherches sur la réversibilité, en lien avec les parties prenantes. Cette réflexion collective servira de support à l'élaboration de la future loi qui déterminera les conditions de réversibilité du stockage profond. Un débat public est prévu en 2013.

La demande de réversibilité semble motivée par différents types de préoccupations, en particulier : contrôler le déroulement du processus de stockage, préserver la possibilité de mettre en œuvre d'autres modes de gestion, conserver une possibilité d'intervention en cas d'évolution anormale, pouvoir récupérer des colis si les déchets qu'ils contiennent devenaient valorisables, ne pas abandonner le site.

Ces attentes ont conduit l'Andra à proposer une approche de la réversibilité reposant sur des dispositions techniques destinées à faciliter le retrait éventuel des colis et sur un processus décisionnel permettant de piloter le processus de stockage.

De nombreux échanges ont été organisés récemment avec les parties prenantes. Une synthèse est présentée dans le chapitre 1 du rapport.

Les options de conception

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

La durabilité des colis et des ouvrages est liée au choix des matériaux constitutifs ainsi qu'aux conditions d'environnement dans l'alvéole de stockage. Les options de conception retenues pour le dimensionnement des composants du stockage et l'analyse de l'évolution phénoménologique sur la période séculaire de réversibilité sont présentées au chapitre 4. L'observation et la surveillance des ouvrages de stockage contribuent à apporter des éléments de connaissance sur l'évolution du stockage en support au processus décisionnel.

Des essais sont réalisés au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne pour tester sur la durée le comportement des matériaux, des ouvrages et des capteurs dans l'argilite du Callovo-Oxfordien. Les démonstrateurs technologiques des procédés de mise en place et de retrait éventuel des colis sont présentés dans l'Espace technologique de Saudron.

Une capacité d'entreposage est nécessaire pour gérer les colis qui seraient retirés du stockage. Cette fonctionnalité a été prise en compte pour l'analyse des besoins futurs d'entreposage en complément du stockage (Andra, 2009a).

Le processus décisionnel

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 (mise en exploitation de nouveaux modules de stockage, mise en place progressive des équipements de sûreté passive), 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 qui définira les conditions de réversibilité du stockage.

Pour faciliter les échanges avec les parties prenantes sur ce sujet, l'Andra a proposé le développement d'une échelle au niveau international dans le cadre du projet « Réversibilité et Récupérabilité » coordonné par l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN/OCDE). Cette échelle identifie différents niveaux de récupérabilité, qui correspondent également à l'ajout progressif d'éléments de sûreté passive. Il serait possible de définir des jalons décisionnels associés au franchissement d'un niveau dans l'échelle.

L'architecture modulaire du stockage permet d'envisager un développement du stockage par tranches successives. Le développement progressif du stockage permet de bénéficier du retour d'expérience tout au long du processus de stockage.

Le stockage est conçu pour pouvoir être fermé et rester sûr après sa fermeture, même en cas d'oubli. Les fonctions de sûreté requises après la fermeture du stockage sont totalement passives : le stockage ne requiert ni maintenance ni intervention humaine pour assurer la protection à long terme, ce qui limite ainsi les charges supportées par les générations futures. L'Andra a proposé que cette fermeture puisse être mise en œuvre de manière progressive. Le processus décisionnel pour franchir ces étapes devra être défini. D'ores et déjà, il est établi que seule une loi pourra autoriser la fermeture définitive du centre de stockage.

La conception d'un stockage réversible vise à donner une liberté de choix à l'échelle séculaire pour gérer le processus de stockage. L'Andra propose que les modalités de réversibilité soient réévaluées régulièrement, en s'appuyant notamment sur les données fournies par l'observation-surveillance.

1

La démarche pour définir les conditions de réversibilité

<i>1.1</i>	<i>Une démarche ouverte</i>	<i>10</i>
<i>1.2</i>	<i>L'appropriation progressive de la notion de réversibilité</i>	<i>12</i>
<i>1.3</i>	<i>La réversibilité dans le Dossier 2005</i>	<i>14</i>
<i>1.4</i>	<i>La prise en compte de la demande de réversibilité dans le cadre de la loi du 28 juin 2006 et du Guide de sûreté</i>	<i>17</i>
<i>1.5</i>	<i>Les études et recherches scientifiques et techniques</i>	<i>18</i>
<i>1.6</i>	<i>L'information et le dialogue</i>	<i>20</i>
<i>1.7</i>	<i>Synthèse des échanges</i>	<i>23</i>

1.1 Une démarche ouverte

Les orientations de la loi du 28 juin 2006

Au terme des recherches réalisées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, le Dossier 2005 « Argile » remis par l'Andra a conclu à la faisabilité de principe d'un stockage réversible des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue dans la formation du Callovo-Oxfordien étudiée notamment au moyen du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. Ce dossier a fait l'objet de plusieurs évaluations scientifiques et techniques : rapport de la Commission nationale d'évaluation mise en place par la loi de 1991 ; avis de l'Autorité de sûreté nucléaire ; revue internationale d'experts menée sous l'égide de l'Agence de l'énergie nucléaire de l'OCDE à la demande des ministères de tutelle de l'Andra. A ces évaluations externes du Dossier 2005 s'ajoute l'avis du Conseil scientifique de l'Andra.

Partant de l'ensemble de ces éléments, des résultats des autres axes de recherche qui avaient été mis en place en 1991, ainsi que des comptes-rendus du débat public sur la gestion des déchets radioactifs, une loi de programme sur la gestion durable des déchets radioactifs a été promulguée le 28 juin 2006 (loi n°2006-739). Cette loi dispose 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* » et confie à l'Andra la mission « *de réaliser ou faire réaliser conformément au plan national prévu à l'article L. 542-1-1 [du code de l'environnement], des recherches et études sur l'entreposage et le stockage en couche géologique profonde et d'assurer leur coordination* ».

Concernant le stockage réversible en couche géologique profonde, la loi précise que les études et recherches correspondantes sont conduites en vue de choisir un site et de concevoir un centre de stockage de sorte que, au vu des résultats des études conduites, la demande de son autorisation puisse être instruite en 2015 et, sous réserve de cette autorisation, le centre mis en exploitation en 2025.

Concernant l'entreposage, les études et recherches sont conduites en vue, au plus tard en 2015, de créer de nouvelles installations d'entreposage ou de modifier les installations existantes, pour répondre aux besoins recensés par le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

Concernant la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue, les études et recherches sont conduites en relation avec celles sur les nouvelles générations de réacteurs nucléaires ainsi que sur les réacteurs pilotés par accélérateurs dédiés à la transmutation des déchets, afin de disposer, en 2012, d'une évaluation des perspectives industrielles de ces filières et de mettre en exploitation un prototype d'installation d'ici fin 2020.

Les exigences exprimées à ce stade concernant la réversibilité

Concernant la réversibilité, la loi du 28 juin 2006 précise que la durée de réversibilité « *ne peut être inférieure à cent ans* », sans préciser la période couverte par cette durée.

Le Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde (ASN, 2008) souligne que « *les dispositions prises pour assurer la réversibilité du stockage ne doivent pas compromettre la sûreté en exploitation et la sûreté après fermeture de l'installation de stockage* ».

Une future loi fixera les conditions de réversibilité

La loi du 28 juin 2006 prévoit qu'une nouvelle loi fixera les conditions de réversibilité requises pour que l'autorisation de créer le centre de stockage puisse être délivrée. Cette loi sera votée après l'instruction de la demande d'autorisation en 2015.

Dans son discours d'ouverture du colloque interdisciplinaire sur la réversibilité organisé à Nancy en juin 2009 (cf. Annexe 1), le député Claude BIRRAUX, président de l'Office parlementaire d'évaluation

des choix scientifiques et technologiques, a souligné que la réversibilité est une « *notion centrale dans l'architecture qui a été bâtie par la loi du 28 juin 2006* ». La future loi qui fixera les conditions de réversibilité devra « *donner des garanties aux populations, des garanties aux scientifiques, sur ce que sera ce stockage réversible* ». A ce stade, les options sont ouvertes, « *pour que la science puisse déployer toutes ses potentialités scientifiques jusqu'à l'engagement de la procédure d'autorisation du stockage* ».

D'ici 2015, il appartient donc aux scientifiques de poursuivre les études et les recherches sur la réversibilité en lien avec les parties prenantes. Cette réflexion collective servira de support à l'élaboration de la future loi qui déterminera les conditions de réversibilité du stockage géologique profond.

L'étape 2009 des études et des recherches

Conformément au décret n°2008-357 du 16 avril 2008 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, l'Andra doit proposer en 2009 (i) une zone d'intérêt restreinte propice à l'implantation du stockage, sur laquelle des techniques d'exploration approfondies seront mises en œuvre, (ii) des options de conception, de sûreté et de réversibilité, (iii) un modèle d'inventaire des déchets à prendre en compte et (iv) des options d'entreposage en complément du stockage.

Les options proposées visent à préciser, en interaction avec les évaluateurs et les parties prenantes, des éléments structurants de spécification du stockage pour passer à une phase d'études à finalité plus industrielle, préparant la demande d'autorisation de création à l'horizon de fin 2014. Concernant la réversibilité, elles identifient également des problématiques issues du dialogue avec les parties prenantes à explorer dans la perspective du débat public prévu en 2013.

Le présent rapport sur les options de réversibilité du stockage présente la démarche pour définir les conditions de réversibilité ; il décrit les dispositions de conception en support à la réversibilité et propose une esquisse de processus décisionnel, qui devra faire l'objet d'échanges avec les parties prenantes.

Le rapport sur les options de sûreté du stockage (Andra, 2009b) présente les fonctions de sûreté à assurer pour protéger l'homme et l'environnement vis-à-vis de la radioactivité des déchets. Les dispositions techniques et organisationnelles retenues pour assurer ces fonctions de sûreté et maîtriser les risques de différentes origines sont identifiées. Les options de sûreté couvrent les installations de surface et les installations souterraines du centre de stockage ainsi que les phases d'exploitation et de post-fermeture.

Les options de réversibilité et de sûreté s'appuient sur des études de concepts techniques d'ouvrages et de procédés de stockage (Andra, 2009c). Ces études se projettent jusqu'à la fermeture définitive du centre de stockage en prenant en compte le modèle d'inventaire de dimensionnement mis à jour en 2009 (Andra, 2009d) ; elles fournissent un cadre concret aux simulations et aux analyses de sûreté et de réversibilité du stockage. Les études d'ingénierie s'appuient sur la réalisation d'essais technologiques, qui permettent de confirmer la faisabilité et le réalisme industriel des options proposées.

Les options de réversibilité sont cohérentes avec les options d'entreposage (Andra, 2009a). L'entreposage et le stockage réversible se complètent pour optimiser la filière de gestion des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue. L'entreposage peut constituer un moyen privilégié d'observation-surveillance de l'évolution des colis. Il permettra également de gérer les colis qui seraient retirés du stockage, sans que la réversibilité n'impose de disposer de capacités d'entreposage correspondant au volume des déchets à stocker¹.

¹ En effet, il n'est pas envisageable au niveau technique de déstocker des colis à un rythme supérieur à leur mise en stockage ; au plan technique, il suffirait de quelques années pour créer, éventuellement par tranches successives, de nouvelles installations capables de gérer les colis que l'on aurait décidé de retirer du stockage.

Le dialogue avec les parties prenantes

Pour mener à bien les missions que lui confie la loi du 28 juin 2006, l'Andra a organisé ses activités scientifiques et techniques au sein de programmes d'études et de recherches qui fourniront les éléments support au débat public puis à l'évaluation de la demande d'autorisation de création du centre de stockage.

L'Andra souhaite également donner au projet une ouverture sociale significative et associer les populations locales tout au long de la préparation puis du déroulement du projet. L'Andra affiche ainsi sa volonté de ne pas dissocier les aspects socio-économiques des aspects scientifiques et techniques dans les propositions qui seront faites au Gouvernement et au Parlement. C'est dans cette optique qu'un programme d'information et de consultation a été mis en place dès 2007 (Andra, 2007).

Le dialogue avec les parties prenantes concerne notamment les attentes en matière de réversibilité et les dispositions à mettre en œuvre pour gérer le processus de stockage sur une période séculaire. La démarche d'information et de dialogue est présentée à la fin du présent chapitre.

1.2 L'appropriation progressive de la notion de réversibilité

L'article 4 de la loi n°91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs prévoyait « *l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes* ».

Pendant la recherche de sites de laboratoires souterrains à partir de 1992, les parties prenantes locales consultées par le député Christian BATAILLE, rapporteur de la loi de 1991 et nommé médiateur chargé de mener la concertation préalable au choix des sites sur lesquels des travaux préliminaires à la réalisation d'un laboratoire souterrain pourraient être menés, ont manifesté leur intérêt pour l'étude du stockage réversible. En 1997, cet intérêt est également évoqué lors des enquêtes publiques en vue de la création de laboratoires de recherche souterrains.

L'année 1998, suite à laquelle l'Andra a été autorisée à installer et à exploiter un laboratoire de recherche souterrain en Meuse/Haute-Marne, a apporté un nouvel éclairage sur la réversibilité.

A la demande du Gouvernement, la Commission nationale d'évaluation (CNE) a remis en juin 1998 un rapport sur la réversibilité (CNE, 1998). 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* ». Différentes motivations possibles pour la réversibilité sont identifiées dans le rapport de la CNE : progrès scientifiques et technologiques (par exemple la possibilité de transmuter certains déchets pour réduire leur nocivité potentielle étudiée dans le cadre de la loi de 1991), évolution de la conjoncture économique (valeur énergétique des combustibles usés non traités), considérations de sûreté (mauvaise évaluation initiale du risque décelée par un contrôle permanent) ou d'éthique (laisser aux générations futures le libre choix de placer les déchets en stockage définitif ou de les reprendre). 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 a organisé un atelier international sur la réversibilité (Andra, 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 ».

En décembre 1998, le Gouvernement a décidé d'inscrire les études de stockage dans la « *logique de réversibilité* ».

De 1998 à 2001, l'Andra précise l'approche présentée en 1998. Dans son dossier d'étape remis en 2001 (Andra, 2001), le principe d'une méthode d'analyse de la réversibilité est introduit (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 mars 2001, le Comité local d'information et de suivi (CLIS) du Laboratoire de Bure organise un colloque sur le thème : « La réversibilité et ses limites ». Différentes thématiques associées à la notion de réversibilité sont abordées : la question de la gouvernance et de la prise de décision avec des incertitudes, l'historique de la gestion des déchets radioactifs et les recherches sur des voies alternatives au stockage, le lien entre réversibilité et sûreté, la dégressivité de la réversibilité, la mémoire et l'oubli, la surveillance et la confiance des parties prenantes, les aspects économiques.

En 2002, un groupe de travail international sous l'égide de l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE, auquel participe l'Andra, introduit une distinction entre les termes « *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 définitif des déchets* ». Elle a donc un champ d'action plus large que la récupérabilité qui exprime « *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 ;

² 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 (...) ».

- 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.

1.3 La réversibilité dans le Dossier 2005

1.3.1 L'approche proposée par l'Andra

Le Dossier 2005 (Andra, 2005) établit la faisabilité de principe d'un stockage réversible dans la couche du Callovo-Oxfordien étudiée notamment au moyen du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.

La définition de la réversibilité retenue par l'Andra dans le Dossier 2005 se décline en trois volets : la capacité à reprendre les colis³, la capacité à intervenir sur le processus de stockage et la capacité à faire évoluer la conception du stockage.

La capacité à reprendre les colis

Cette approche de la réversibilité a conduit l'Andra à proposer en 2005 un processus de stockage où les colis peuvent, au cours de la première étape, être retirés de la même façon qu'ils ont été mis en place. La conception d'alvéoles et de colis de stockage durables permet de maintenir cette facilité de retrait pendant une durée séculaire (qui a été évaluée de l'ordre de deux cents ans à trois cents ans dans le Dossier 2005). La durabilité des alvéoles et des colis résulte principalement du choix des matériaux et de leur dimensionnement ainsi que des conditions environnementales en leur sein. L'observation des ouvrages permet de réévaluer régulièrement leur durée de vie.

La complexité des travaux nécessaires pour retirer les colis croît à mesure du franchissement des étapes de fermeture. On considère dans le Dossier 2005 que le terme ultime de la gestion réversible du processus de stockage est la rupture mécanique du revêtement des alvéoles. Au-delà de cette borne, le retrait des colis bloqués par la formation géologique nécessiterait la mise en œuvre simultanée de moyens miniers et nucléaires. Bien que techniquement envisageable par référence au retour d'expérience de certains gisements riches en uranium, leur mise en œuvre caractérise un faible niveau de récupérabilité.

La capacité à intervenir sur le processus de stockage

Le Dossier 2005 insiste sur le fait que la conception du stockage se doit d'être robuste vis-à-vis des objectifs de protection de l'homme et de l'environnement à long terme : le stockage est conçu pour pouvoir être fermé et être rendu passif, si le choix en est fait. La fermeture permet alors de faire évoluer le stockage vers une installation ne nécessitant pas l'intervention de l'homme, ce qui offre des garanties de sûreté supplémentaires à long terme.

Afin d'offrir une flexibilité au pilotage du processus de stockage, l'Andra a proposé que cette fermeture puisse être mise en œuvre de manière progressive, permettant une diminution graduelle du niveau de récupérabilité, au fur et à mesure que l'on décide de franchir les étapes de fermeture. Après la construction des ouvrages de stockage et la mise en place des colis, les étapes qui ont été identifiées sont, pour un module de stockage donné, le scellement des alvéoles, puis la fermeture du module par remblaiement des galeries d'accès, puis, à l'échelle du stockage, la fermeture d'une zone de stockage et enfin la fermeture des infrastructures communes (galeries de liaison principales et puits) du stockage.

³ La capacité à retirer les colis de déchets stockés est parfois désignée par le terme « récupérabilité ».

Le stockage peut ainsi être géré par étapes avec des jalons décisionnels intermédiaires, depuis la mise en place des colis jusqu'à la fermeture complète de l'installation. Cette approche par étapes offre, à chaque jalon, la possibilité de maintenir l'installation en l'état, de passer à l'étape suivante en fermant certains ouvrages, ou de revenir en arrière à une étape antérieure, et éventuellement jusqu'à un retrait des colis. Avancer dans le processus de stockage permet d'augmenter la passivité de l'installation mais corollairement réduit le niveau de récupérabilité des colis.

La capacité à faire évoluer la conception du stockage

La mise en service industrielle du centre de stockage démarre avec la réception des premiers colis sur le site et leur mise en stockage dans les premiers ouvrages construits. L'exploitation du stockage pourrait ensuite s'étaler sur une durée d'ordre séculaire, pendant laquelle les ouvrages seront construits progressivement. Le développement progressif du stockage offre une souplesse dans la conception et dans la gestion du stockage et permet de tirer parti de l'expérience acquise, en particulier par l'observation-surveillance des installations, et des progrès scientifiques et techniques.

1.3.2 Les recommandations des évaluateurs du Dossier 2005

Le Dossier 2005 remis par l'Andra a fait l'objet de plusieurs évaluations scientifiques et techniques.

Rapport d'évaluation des recherches par la Commission nationale d'évaluation

Dans son rapport d'évaluation de juin 2005 (CNE, 2005), la CNE rappelle que la notion de réversibilité d'un stockage profond de déchets radioactifs est directement liée au principe de précaution et qu'elle laisse aux prochaines générations la décision de la fermeture du stockage. Son analyse est la suivante :

« L'approche de l'Andra repose sur l'enchaînement des phases de la vie d'un stockage et apporte des propositions de flexibilité, de choix d'avancement ou de retour en arrière en fonction de l'observation de la surveillance du stockage ; ces étapes clefs correspondent à des jalons décisionnels au moment du passage d'une phase à une autre. (...)

La Commission reconnaît la pertinence de cette vision, tout en insistant néanmoins sur la nécessité de prévoir les conséquences sur le milieu géologique de l'ouverture prolongée des puits et galeries d'accès, sur l'incertitude de la longévité séculaire de certains composants matériaux et sur l'influence de la génération de gaz pendant cette période. Les inconnues sociétales sur la permanence des compétences nécessaires invitent aussi à ne pas prolonger inconsidérément la non fermeture des ouvrages. Ces restrictions conduisent à préférer limiter la durée de la phase de réversibilité organisée, par exemple à une centaine d'années, après quoi les ouvrages devraient être rebouchés de la meilleure façon possible. Il resterait cependant toujours concevable, au moyen d'une ingénierie particulière à développer, de venir reprendre les déchets stockés, même après un temps très long, mais probablement au prix de difficultés qui ne feront que croître avec le temps ».

La CNE souligne par ailleurs que les études d'ingénierie sont fondées sur des concepts simples et robustes. L'architecture de stockage modulaire permet une gestion souple et des possibilités d'évolutions dans la conception des modules encore à construire.

La CNE approuve la mise en place d'outils d'observation et de surveillance en appui à la gestion de la réversibilité et rappelle les contraintes liées à la pérennité de ces dispositifs. Elle recommande de décrire précisément les modalités envisagées pour la gestion et la surveillance des ouvrages.

Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire

Dans son avis sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991 (ASN, 2006), l'ASN considère, sur le plan des principes, que la réversibilité ne peut avoir qu'une durée limitée : « *l'accessibilité aisée aux colis de déchets doit être limitée dans le temps car une fermeture du stockage trop longtemps différée pourrait remettre en cause (...) la sûreté du stockage* ». L'ASN ne considère pas que la possibilité de reprendre les colis soit acquise sur une période de deux à trois siècles. Dans ces conditions, l'ASN estime « *qu'il est souhaitable de retenir une gestion du stockage par étapes allant de la mise en*

exploitation de l'installation de stockage jusqu'à sa fermeture. La décision de fermer l'installation de stockage, et donc de mettre fin à la réversibilité, devrait revenir au Parlement ». Le Groupe Permanent « Déchets » recommande en outre de confirmer l'efficacité des dispositions permettant de reprendre, sans difficulté excessive, les colis de déchets pendant la période de réversibilité.

Revue internationale organisée sous l'égide de l'AEN

La revue du Dossier 2005 par un groupe d'experts internationaux sous l'égide de l'AEN (OECD, 2006), à la demande du Gouvernement, conclut que le dossier présente « une approche viable de la réversibilité, sans compromis vis-à-vis de la sûreté opérationnelle ou à long terme ». Tout en reconnaissant que l'exigence de récupérabilité des colis existe dans d'autres pays et peut être satisfaite par d'autres concepts que ceux développés par l'Andra, le groupe d'experts internationaux relève que les concepts Andra sont plus orientés vers la réversibilité que les autres sur des échelles de temps relativement longues. L'équipe de revue considère néanmoins que cette approche conduit à une complexité accrue de l'exploitation, pour certaines opérations, d'où le besoin d'un important travail de qualification pour montrer que ceci peut être obtenu avec la fiabilité requise. Elle estime aussi que certains dimensionnements (épaisseurs de béton...) pourraient être diminués si l'on adoptait des durées de réversibilité plus courtes.

1.3.3 Les suites du débat public

Le bilan du débat public sur la gestion des déchets radioactifs (CNDP, 2006) reflète la perception du public associée aux échelles de temps : « la population a montré son incrédulité totale à l'égard des prévisions à très long terme : personne ne peut savoir ce qui va se passer dans mille ans, dans dix mille ans. Est apparue l'idée qu'aux échéances à une ou quelques décennies, il était sage d'ajouter des échéances de moyen terme (100-150 ans). »

Suite au débat public, le Gouvernement a indiqué les suites qu'il souhaitait donner aux différentes propositions émises lors du débat public (MEFI-MEDD, 2006) :

- Sur la mise en œuvre progressive et contrôlée du processus de 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 : « 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. Mais, contrairement à un entreposage, un stockage peut aussi être fermé, pour assurer une protection passive à très long terme des personnes et de l'environnement. Il reste que cette thématique devra être encore explorée par l'Andra tant sur le plan technologique (poursuivre les démonstrations dans ce domaine, poursuivre le dialogue avec les évaluateurs) que sur le plan de l'information et de l'explicitation vis-à-vis du public. En effet, les réactions et questions intervenues sur ce sujet dans le cadre du débat public ont montré que les échanges doivent continuer sur ce sujet, de façon à partager les possibilités offertes par la réversibilité et à rendre ce concept plus concret et accessible aux yeux du public ».
- Sur le processus décisionnel : « les deux options [stockage en couche géologique profonde ou entreposage] reposent en effet sur les mêmes prémisses qui ont été clairement exprimées au cours du débat : refus de transiger avec la sûreté des solutions, refus d'être piégé dans un processus décisionnel sans alternative, et responsabilité des générations actuelles dans la gestion des déchets radioactifs ».

1.4 La prise en compte de la demande de réversibilité dans le cadre de la loi du 28 juin 2006 et du Guide de sûreté

1.4.1 Le principe de réversibilité dans la loi du 28 juin 2006

Le stockage réversible en couche géologique profonde est la solution de référence pour la gestion à long terme des déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou en faible profondeur. Les déchets radioactifs ultimes sont « *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* ».

Après instruction de la demande d'autorisation de création du centre de stockage, une loi fixera les conditions de réversibilité. L'article 12 de la loi du 28 juin 2006 prévoit ainsi que « *la demande d'autorisation de création du centre donne lieu à un rapport de la commission nationale [d'évaluation], 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 [d'évaluation] 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 la réversibilité. Après promulgation de cette loi, l'autorisation de création du centre peut être délivrée par décret en Conseil d'Etat, 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* ».

« *Lors de l'examen de la demande d'autorisation de création, la sûreté du centre est appréciée au regard des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive. Seule une loi peut autoriser celle-ci. L'autorisation fixe la durée minimale pendant laquelle, à titre de précaution, la réversibilité du stockage doit être assurée. Cette durée ne peut être inférieure à cent ans* ».

1.4.2 Le Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde

Le Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde (ASN, 2008) prend en compte le principe de réversibilité de la façon suivante :

« *La réversibilité du stockage suppose des modes d'exploitation adaptés, ainsi que des moyens de surveillance de l'installation. (...)*

Les dispositions prises pour assurer la réversibilité du stockage ne doivent pas compromettre la sûreté en exploitation et la sûreté après fermeture de l'installation de stockage. »

La section 5.6 du Guide de sûreté précise les besoins de surveillance liés à la réversibilité :

« *Un programme de surveillance de l'installation doit être mis en œuvre pendant la construction des ouvrages de stockage et jusqu'à la fermeture de l'installation. Certaines dispositions de surveillance pourront également être maintenues après la fermeture de l'installation. La nécessité de mettre en œuvre cette surveillance doit être prise en compte dès la conception du système de stockage.*

Outre sa contribution à la sûreté de l'installation en phase d'exploitation, le programme de surveillance a pour objectif de suivre l'évolution de certains paramètres caractérisant l'état des composants de l'installation de stockage et du milieu géologique, ainsi que les principaux phénomènes responsables de cette évolution. Le programme de surveillance doit permettre de montrer que les phénomènes précités ont bien été anticipés et restent maîtrisés. Il apporte également les éléments nécessaires pour la gestion, l'exploitation et la réversibilité de l'installation.

Les moyens utilisés pour la surveillance ne doivent pas réduire la sûreté du stockage. »

1.5 Les études et recherches scientifiques et techniques

Les études et recherches en lien avec la réversibilité comprennent notamment la description phénoménologique de l'évolution du stockage, les études et essais de procédés de retrait des colis, le développement de moyens d'observation-surveillance pour le stockage. Des recherches en sciences humaines et sociales sont menées en vue d'incorporer les aspects sociaux dans la conception du projet et de favoriser les échanges avec les parties prenantes.

L'analyse phénoménologique du stockage

Afin d'éclairer les choix d'options 2009 vis-à-vis de la durabilité et des conditions de la réversibilité du stockage, l'Andra a réalisé une mise à jour de l'Analyse phénoménologique des situations de stockage, centrée sur la phase séculaire d'exploitation et de réversibilité (APSS-Exploitation). Cette démarche originale consiste à analyser l'ensemble des processus phénoménologiques d'origine thermique, hydraulique, mécanique, chimique et radiologique qui affectent les composants du stockage et le milieu géologique dans le temps. Afin d'appréhender un système complexe qui fait intervenir des phénomènes variés et souvent couplés, l'analyse se fonde sur une segmentation de la vie du stockage en situations affectées aux différentes zones de stockage. Cette segmentation est rendue possible par la conception modulaire du stockage. Elle tient compte des différentes étapes de gestion du stockage.

L'analyse phénoménologique des situations de stockage du Dossier 2005 Argile avait déjà décrit les processus propres à la période d'exploitation et avait mis en évidence l'importance des transitoires et des couplages phénoménologiques forts pendant cette période. En focalisant l'analyse sur la période d'exploitation et en y apportant les avancées de connaissances scientifiques et techniques réalisées depuis 2005 (connaissances acquises au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et dans le cadre des programmes de recherche pilotés par l'Andra, résultats des travaux de simulation, options de conception issues des études d'ingénierie), l'APSS-Exploitation 2009 confirme les grands enseignements phénoménologiques relatifs à la période séculaire d'exploitation et de réversibilité.

L'APSS-Exploitation fournit des temps caractéristiques pour évaluer les flexibilités possibles dans la gestion du processus de stockage. Elle contribue à identifier les paramètres à suivre dans le cadre de l'observation-surveillance du stockage. Elle décrit également dans quel état physique et chimique vraisemblable se trouveraient les composants situés dans les parties fermées du stockage, s'il était décidé d'y accéder à nouveau.

Les études techniques et les essais technologiques

Les études techniques en lien avec la réversibilité portent notamment sur la conception des ouvrages souterrains et des conteneurs de stockage pour assurer leur durabilité, sur les procédés de manutention pour mettre en place les colis et pour leur retrait éventuel, sur les besoins en capacités d'entreposage pour gérer les colis qui seraient retirés du stockage, sur les procédés de contrôle des colis avant mise en stockage, sur les moyens d'observation-surveillance (cf. infra). Elles sont menées en lien étroit avec les études de sûreté en exploitation et après fermeture.

Des essais technologiques sont réalisés en surface. Dans le cadre du projet européen « Esdred », l'Andra a ainsi réalisé un démonstrateur à l'échelle 1 pour tester le procédé de mise en place et de retrait des colis de haute activité (HA). Ce démonstrateur est présenté au public dans l'Espace technologique situé à proximité du Laboratoire. Le procédé de mise en place des colis de moyenne activité à vie longue (MAVL) est en cours de développement et sera testé d'ici 2013.

Les comportements aux interfaces argilites/matériaux font l'objet d'études en laboratoires de surface qui doivent être confirmées *in situ*. Des essais ont été mis en place en 2009 au Laboratoire souterrain. Une expérimentation est également dédiée à l'étude de l'effet de la désaturation due à la ventilation sur un tronçon de galerie. Des essais technologiques sont réalisés au Laboratoire pour tester les procédés de réalisation des ouvrages souterrains puis suivre le comportement de ces ouvrages. Le retour d'expérience du suivi des tunnels montre l'intérêt de réaliser des observations sur la durée.

L'observation-surveillance du stockage

L'observation-surveillance constitue une dimension essentielle de la gestion réversible du stockage. Elle intervient en appui du processus décisionnel et de la gestion par étapes du processus de stockage :

- l'analyse périodique de l'évolution des ouvrages permet de réévaluer régulièrement les modalités de réversibilité ;
- le retour d'expérience acquis par l'observation-surveillance pourra contribuer à faire évoluer la conception des ouvrages du stockage sur la période séculaire d'exploitation ;
- les données acquises sur la durée consolident le référentiel de connaissances et contribuent à échanger avec les parties prenantes sur la robustesse des choix effectués.

Une stratégie globale pour la conception du système d'observation-surveillance a été définie en tenant compte des contraintes d'instrumentation du stockage. Elle s'appuie sur l'analyse phénoménologique pour identifier les processus à observer et les conditions d'environnement des instruments d'auscultation. Le système d'observation-surveillance sera évolutif pour s'adapter aux différentes étapes de gestion du stockage.

L'Andra collabore avec des laboratoires et des industriels spécialisés pour la recherche et le développement de technologies innovantes. De nombreux échanges ont également lieu à l'international sur les méthodes et techniques de « monitoring » du stockage géologique, en particulier dans le cadre du projet européen « Modern » coordonné par l'Andra. Le Laboratoire souterrain est un lieu privilégié pour suivre sur la durée le comportement d'ouvrages souterrains et tester des composants du système d'auscultation.

Les recherches en sciences humaines et sociales

La loi de programme du 28 juin 2006 définit un nouveau processus d'innovation : les conditions de réversibilité du stockage seront déterminées par une loi votée après l'évaluation en 2015 du dossier technique remis par l'Andra. Un débat public est prévu en 2013. L'Andra joue un rôle de médiateur entre le technique, le politique et le social et doit proposer des compromis socio-techniques, des solutions *robustes* aussi bien sur le plan technique que social. La demande sociétale de réversibilité ne peut pas être identifiée au préalable ; elle se construit progressivement avec l'engagement des parties prenantes dans le projet. L'Andra se doit donc de jouer un rôle actif dans la configuration de cette demande.

L'Andra a recours aux approches des sciences humaines et sociales (SHS) pour mieux définir et mettre en œuvre ce nouveau rôle de médiation. La mise en place d'une démarche de réflexion commune avec la communauté des chercheurs en SHS sur le sujet de la réversibilité vise l'exploration active des différentes composantes de la notion de réversibilité.

L'Andra a inclus les recherches en SHS dans le cadre de son programme scientifique. Il s'agit notamment d'intéresser les chercheurs aux travaux de l'Agence et de mobiliser progressivement cette communauté autour de sujets d'intérêt commun. Les travaux en cours concernent notamment l'approche des « bénéfiques » de la réversibilité à l'aide de la théorie économique des options réelles (CNRS-Universités de Strasbourg et Nancy), les répertoires argumentatifs autour de la notion de réversibilité (EHESS) ainsi que la réalisation d'un espace documentaire pour un accès multipoints de vue aux travaux exploratoires de l'Andra sur la réversibilité (CNAM et Université Technologique de Troyes).

L'organisation de rencontres scientifiques et la réalisation de publications communes constituent également des moyens d'incitation et de mise en œuvre de cette collaboration de recherche entre la communauté des SHS et l'Andra autour de la question de la réversibilité. Deux rencontres ont déjà eu lieu en 2008 et en 2009. Une conférence internationale sur la réversibilité sera organisée en France sous l'égide de l'Agence pour l'énergie nucléaire (OCDE) fin 2010.

1.6 L'information et le dialogue

La démarche engagée par l'Andra

L'Andra a transmis en 2008 une proposition de démarche d'information et de consultation (Andra, 2007) à la Commission nationale du débat public, au Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, à la Commission nationale d'évaluation (CNE), à l'Autorité de sûreté nucléaire, au Comité local d'information et de suivi (Clis) du Laboratoire de Bure, aux préfets et aux présidents des Conseils généraux de Haute-Marne et de Meuse. Cette démarche a également fait l'objet d'échanges avec l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, le Conseil économique, social et environnemental, les parlementaires de Haute-Marne et de Meuse et les élus locaux.

Un Comité d'expertise et de suivi de la démarche d'information et de consultation (Coesdic) a été créé sous l'égide du Conseil scientifique de l'Agence. Il réunit des sociologues et des experts dans le domaine de la concertation avec les parties prenantes. Il conseille l'Andra dans sa démarche d'information et de dialogue et suit son activité dans ce domaine. Dans son rapport annuel d'activités 2008 (cf. Annexe 2), il soutient l'initiative de l'Andra d'organiser des échanges avec les sciences humaines et sociales. Il souligne que la question de la réversibilité sera au cœur du débat public et de la future loi et recommande qu'un travail exploratoire sur les attentes et positions des différentes parties prenantes soit entrepris en vue du débat public.

La première partie de la démarche vise notamment à informer localement sur le projet de centre de stockage réversible profond. Dans cette optique, un Espace technologique a été ouvert au public en juin 2009 sur la commune de Saudron, à proximité du Laboratoire. Il permet notamment de présenter les procédés de mise en place et de retrait des colis ainsi que la R&D concernant l'instrumentation. Une conférence sur la mémoire et une conférence sur la réversibilité ont été organisées lors de « Journées Portes Ouvertes ». Une exposition itinérante consacrée au projet a également été proposée aux communes.

La seconde partie de la démarche vise à préparer le débat public et le rendez-vous parlementaire qui fixera les conditions de réversibilité. Il s'agit notamment d'engager des échanges avec les parties prenantes sur les questions relatives au choix de site et à la réversibilité. Plusieurs échanges sur la réversibilité ont eu lieu en 2008-2009 :

- L'Andra a présenté son approche de la réversibilité à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, à la CNE et à l'Autorité de sûreté nucléaire. Les travaux en cours sur la définition d'options de réversibilité ont également été présentés au Comité d'orientation et de suivi des recherches sur l'aval du cycle (COSRAC), qui réunit des représentants des ministères de tutelle de l'Andra, de l'Autorité de sûreté nucléaire et de son appui technique, l'IRSN, des organismes de recherche (CNRS, CEA) ainsi que des exploitants nucléaires (Areva, CEA, EDF).
- Une journée d'études sur la réversibilité a été organisée entre des ingénieurs et scientifiques de l'Andra et des chercheurs de la communauté des sciences humaines et sociales en octobre 2008 (Andra, 2008). Un colloque scientifique interdisciplinaire sur la réversibilité a ensuite été organisé en juin 2009 à Nancy (Andra, 2009e).
- Fin 2008, le Clis a décidé de mettre en place quatre commissions thématiques : « Communication », « Réversibilité », « Environnement et Santé », « Localisation ». La commission « Réversibilité » a sollicité l'Andra pour présenter son approche. Plusieurs membres du Clis ont participé au colloque interdisciplinaire sur la réversibilité. Le Clis participe également au projet européen « COWAM in Practice ».
- L'Agence pour l'énergie nucléaire a organisé une réunion du « Forum on Stakeholder Confidence » (FSC) à Bar-le-Duc en avril 2009. La CNE, le Clis et l'Andra sont intervenus lors de la session sur la réversibilité.
- Le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire a organisé une réunion d'échanges sur la réversibilité en octobre 2009, en présence de représentants de la CNE, de l'Ancli (Association Nationale des Commissions Locales d'Information des activités nucléaires) et de l'Andra (HCTISN, 2009).

- Plusieurs échanges sur la réversibilité ont lieu à l'international, en particulier dans le cadre du projet « Reversibility and Retrievability » mis en place par l'Agence pour l'énergie nucléaire (OCDE). Une conférence internationale sur la réversibilité sera organisée en France fin 2010.

La réunion d'échanges organisée par le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire

Dans son intervention (cf. Annexe 3), la CNE a souligné que le stockage doit répondre à différents objectifs : la réversibilité, la sécurité des travailleurs et du public pendant l'exploitation et la sûreté à long terme. Pour concilier ces différents objectifs, la CNE a rappelé son attachement aux idées suivantes :

- La réversibilité est progressive et doit avoir un terme. Ce terme peut être révisable, éloigné dans le futur, mais son principe doit être défini dès l'origine. Un stockage profond réversible a vocation à être fermé un jour. En ce sens, il est essentiellement différent d'un entreposage profond de longue durée.
- Une hiérarchie des objectifs doit être définie. La sécurité des travailleurs et du public doit être à un niveau au moins égal à celui assuré dans les installations nucléaires classiques. La sûreté à long terme d'un stockage réversible ne peut être d'un niveau moindre que celle d'un stockage irréversible. La sûreté doit avoir le dernier mot.
- L'objectif premier du stockage réversible est d'assurer une démonstration de la qualité et de la robustesse des choix effectués, pour en tenir le public informé.

L'Ancli considère que l'obligation de réversibilité implique une possibilité de choix de gestion, la vérification des modes de gestion et la possibilité d'intervenir pour leur amélioration, ainsi que la possibilité d'intervention des acteurs locaux, sur la définition de la réversibilité, sur le suivi et la vérification de l'inventaire ainsi que sur la sûreté.

L'Ancli considère également que le processus de décision, en matière de réversibilité, doit s'appliquer à tous les types de déchets. Le point de départ de la réversibilité devrait être la fin de l'exploitation. Les problématiques relatives au processus de fermeture, aux techniques de retrait, au financement, à la transmission de la mémoire, à la période de réversibilité, à l'expertise sont exposées. La nécessité d'une concertation avec les acteurs locaux sur l'application du principe de réversibilité est soulignée.

Le projet européen « COWAM in Practice »

Le projet européen « COWAM⁴ in Practice » fait suite aux projets « COWAM » et « COWAM 2 » sur la gouvernance en matière de gestion des déchets radioactifs. Les travaux menés dans le cadre de ce projet comprennent des réflexions au niveau national. Les travaux du groupe français ont notamment porté sur le thème de la réversibilité.

Les propositions des acteurs territoriaux du groupe « Cowam in Practice France » ont été présentées lors de la réunion du 19 novembre 2008 (cf. document projet joint en Annexe 4).

L'obligation de réversibilité est présentée comme une opportunité pour suivre et améliorer les modes de gestion des déchets et pour s'assurer que la sûreté est maintenue. La réversibilité doit donc s'accompagner d'un travail de suivi, de retour d'expérience et d'évaluation. L'inventaire du stockage doit être contrôlé et tracé pendant la durée de réversibilité. La question des modalités de financement d'une opération éventuelle de retrait des colis est posée.

Une réflexion doit être engagée sur le rôle des acteurs locaux dans le suivi de la réversibilité sur le moyen-long terme. L'importance de l'accès à l'expertise et à la formation est soulignée. Le programme de surveillance du site, en particulier de l'environnement et de la santé, doit faire l'objet d'échanges avec les parties prenantes locales, qui souhaitent pouvoir contribuer à sa définition. Concernant la pérennisation de la mémoire autour du site de stockage, il est suggéré d'examiner des modalités de transmission « active » de cette mémoire. La problématique des échelles de temps est évoquée.

⁴ Cooperative Research on the governance of radioactive waste management.

La journée d'études « Réversibilité et Sciences Sociales »

Il est apparu aux membres de la communauté des sciences humaines et sociales qui ont participé à la journée d'études (Andra, 2008), qu'il était nécessaire de clarifier la terminologie et d'approfondir l'argumentation à développer. 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. A ce sujet, l'Andra aurait intérêt à ce que la réversibilité se distingue plus clairement d'une échelle de stricte récupérabilité, à ce que les « coûts » de la réversibilité soient mis au regard des « bénéfices », et les « incertitudes » au regard de « l'acquisition de connaissances ». 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.

En matière de sûreté, l'opposition en termes de stabilité relative entre la géologie et la société a été largement discutée et n'est pas apparue si évidente. Les paradigmes et les cadres utilisés dans ce domaine gagneraient à être mieux explicités. 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.

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.

Le colloque scientifique interdisciplinaire de Nancy

Suite à la journée d'études, l'Andra a organisé un colloque scientifique interdisciplinaire en vue d'explorer les nouveaux rapports entre science, technique et société introduits par la notion de réversibilité dans le cadre du stockage géologique des déchets radioactifs (Andra, 2009e).

Destiné à croiser les points de vue d'ingénieurs, de chercheurs en sciences de la nature et de chercheurs en sciences sociales, le colloque a permis de traiter la question de la réversibilité en relation avec d'autres thématiques (la mémoire, les modèles décisionnels, l'argumentation et le débat public, l'analyse économique) et d'autres expériences industrielles (le stockage de CO₂, les résidus miniers).

Ce colloque a mis en exergue comment la notion de réversibilité véhicule et met en œuvre des compromis socio-techniques, caractéristiques d'un nouveau régime d'innovation. L'approche consistant à décliner les fonctions de la réversibilité dans le processus de stockage, de manière à élaborer la décision de manière progressive (par itérations successives, avec des points d'étape intermédiaires), s'inscrit parfaitement dans ce nouveau régime et a été appréciée favorablement.

Les échanges à l'international

Le *Radioactive Waste Management Committee* de l'Agence de l'énergie nucléaire (OCDE/AEN) a lancé en 2007 un projet sur le thème « *Retrievability and Reversibility*⁵ » (OECD, 2007) pour mettre à jour

⁵ « Récupérabilité et Réversibilité » : La récupérabilité (« retrievability ») est définie comme la possibilité d'inverser l'action de mise en place des colis de déchets proprement dite et donc de les récupérer ; la réversibilité (« reversibility ») est définie comme la possibilité de revenir sur une ou plusieurs étapes de la planification ou du développement d'un stockage géologique (OECD, 2001).

le rapport émis en 2001 à l'issue du premier projet coordonné par l'AEN sur le sujet (OECD, 2001). Une conférence internationale est prévue fin 2010, en France.

Les différents pays participant au projet de l'AEN ont des approches différentes de la réversibilité. Il est néanmoins possible d'identifier des points communs :

- Il est reconnu internationalement qu'à long terme, lorsque l'on ne pourra plus compter sur les dispositions institutionnelles actuelles, les déchets radioactifs devront être gérés de manière à protéger les générations futures par des dispositions ne nécessitant pas d'actions de maintenance et de surveillance.
- Il est reconnu également que les colis de déchets radioactifs ne devraient être mis en place dans un stockage que si des décisions de politique générale ou réglementaires ont été prises garantissant que les "déchets radioactifs" stockés ne sont pas susceptibles d'être considérés comme des matières valorisables dans un futur prévisible. Cette décision est liée aux politiques nationales.
- Même si la mise en stockage des colis de déchets s'effectue sans intention de les retirer, il est judicieux de ne pas exclure sans raison la possibilité de récupérer des colis et de préserver une réversibilité des décisions, en application d'un principe de modestie.
- Deux principes éthiques orientent la politique de gestion des déchets : les gestionnaires de déchets ont la responsabilité de protéger les générations actuelle et futures et celle de respecter la liberté des générations futures de prendre des décisions différentes. Respecter ces principes impose de définir leurs priorités respectives dans le temps.
- La récupérabilité permet une certaine liberté de choix, mais elle ne doit jamais être obtenue au détriment de la sûreté.

L'élaboration d'une échelle associée à la réversibilité

Pour faciliter les échanges avec les parties prenantes en France et à l'international, l'Andra a proposé de définir une échelle associée à la réversibilité. Cette échelle illustre le caractère progressif du processus de stockage et permet de définir un jalonnement décisionnel possible, associé au franchissement des différents niveaux définis dans l'échelle. L'échelle montre également que le caractère « passif » de la sûreté du stockage augmente au fur et à mesure de l'avancement du processus de stockage.

Un groupe de travail dédié à l'échelle a été constitué dans le cadre du projet « Retrievability and Reversibility » mis en place par l'AEN. Il a été décidé de dénommer cette échelle « Retrievability scale », c'est-à-dire échelle de récupérabilité, eu égard à son caractère technique et au fait qu'elle caractérise les déchets plutôt que le stockage. Le projet d'échelle, dans sa version actuelle, est présenté au chapitre 5.

Les différents niveaux de l'échelle portent sur la récupérabilité des colis ou des déchets. Ceci permet de disposer d'un outil descriptif commun aux différents organismes impliqués à l'international dans le stockage géologique de déchets radioactifs, quelle que soit leur approche vis-à-vis de la réversibilité.

1.7 Synthèse des échanges

La demande de réversibilité semble motivée par différents types de préoccupations : contrôler le déroulement du processus de stockage, préserver la possibilité de mettre en œuvre d'autres modes de gestion, conserver une possibilité d'intervention en cas d'évolution anormale, pouvoir récupérer des colis si les déchets qu'ils contiennent devenaient valorisables, ne pas abandonner le site.

La loi du 28 juin 2006 indique que la durée de réversibilité ne peut être inférieure à cent ans, sans préciser la période couverte par cette durée. Cette question fait l'objet d'échanges avec les parties prenantes. Dans son avis du 12 octobre 2006, le Clis du Laboratoire de Bure souhaite qu'une attention particulière soit portée à l'étude des conditions de réversibilité (définition de la durée, méthodes et techniques de surveillance du stockage en cours d'exploitation et après fermeture). Il considère que le point de départ de la réversibilité du stockage devrait être la date de fin d'exploitation du stockage. Les évaluateurs du Dossier 2005 ont considéré que la possibilité de reprendre les colis

sur une période de deux à trois siècles n'était pas acquise à ce stade des connaissances. Cette question renvoie aux motivations de la demande de réversibilité et à la crainte d'un abandon du site après fermeture du stockage. Dans les options de réversibilité, l'Andra propose que la demande de réversibilité s'applique dès la mise en place du premier colis et que les modalités et la durée de réversibilité soient réévaluées régulièrement, en s'appuyant notamment sur les données fournies par l'observation-surveillance (cf. chapitre 5).

Il existe un consensus fort, en France et à l'étranger, sur le fait que la réversibilité ne doit pas compromettre la sûreté du stockage et sur la distinction entre les notions d'entreposage et de stockage, ce dernier étant conçu pour pouvoir assurer de manière totalement passive la sûreté après sa fermeture. De même, les deux dimensions de la réversibilité, technique et organisationnelle, sont largement partagées. La « récupérabilité » recouvre la capacité à pouvoir reprendre les colis de façon sûre. Les dispositions organisationnelles renvoient à un processus décisionnel progressif pour le pilotage de la gestion des déchets sur une durée séculaire.

L'analyse des « opportunités » à mettre en regard des « coûts » de la réversibilité doit être poursuivie. L'introduction de points de décision et de réévaluations régulières permet de construire une décision par itérations successives, durant la période séculaire d'exploitation. L'Andra examine comment la théorie économique des options permettrait d'estimer la valeur associée à cette flexibilité des choix techniques.

La mise en œuvre de la réversibilité permet de maintenir les mêmes possibilités de choix que la gestion actuelle par renouvellements d'entrepôts. La mise en stockage y ajoute la possibilité d'introduire progressivement des éléments de sûreté passive et de limiter ainsi les charges pour la gestion des déchets qui seront supportées par les générations futures. Pour certains, la réversibilité est une opportunité de questionner les modes de gestion des déchets et de les faire évoluer le cas échéant. Plus généralement, la poursuite de recherches sur la gestion des déchets au-delà de 2015 et le partage des connaissances ainsi acquises pourraient être des conditions nécessaires à la réversibilité pour concrétiser les possibilités de choix.

Le programme de surveillance du site, en particulier de l'environnement et de la santé, doit faire l'objet d'échanges avec les parties prenantes locales, qui souhaitent pouvoir contribuer à sa définition. Une crainte liée à la fermeture du stockage est l'abandon du site. Le programme de surveillance doit donc identifier les actions qu'il serait possible de mettre en œuvre après la fermeture. Concernant la pérennisation de la mémoire autour du site de stockage, il est suggéré d'examiner des modalités de transmission « active » de cette mémoire. Des outils innovants pourraient également être utilisés pour constituer une mémoire à partir d'un réseau de contributeurs.

Le financement d'une opération éventuelle de retrait de colis ouvre une problématique à explorer d'ici 2015 : le financement d'une telle opération doit-il être assuré par la génération qui décidera de construire et d'exploiter un nouveau module de stockage, par exemple en constituant une provision pour une opération éventuelle de retrait futur, ou bien par la génération qui déciderait ultérieurement une opération de retrait de colis ? Cette question renvoie aux motivations possibles de la décision de procéder à un retrait de colis : objectif de valoriser un déchet, émergence de nouvelles techniques, choix sociétal...

2

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

2.1	<i>Introduction</i>	26
2.2	<i>Les déchets de haute activité (HA)</i>	27
2.3	<i>Les déchets de moyenne activité à vie longue (MAVL)</i>	30

2.1 Introduction

Les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MAVL) résultent de l'industrie électronucléaire, ainsi que d'activités de recherche et de la défense nationale. A fin 2007, ils représentent respectivement 0,2 % et 3,6 % du volume total de déchets radioactifs en France et concentrent l'essentiel de la radioactivité totale des déchets (cf. Figure 2.1-1).

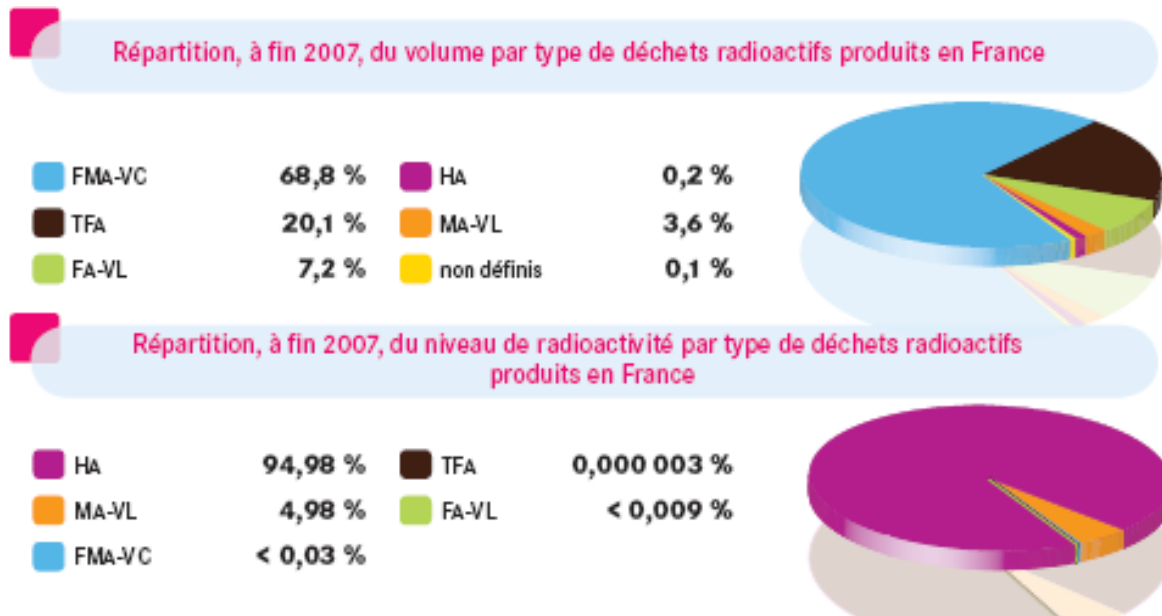


Figure 2.1-1 Répartition à fin 2007 du volume et du niveau de radioactivité par type de déchets radioactifs produits en France (Andra, 2009f)

Les déchets HA et MAVL de l'industrie électronucléaire proviennent essentiellement des combustibles usés déchargés des réacteurs de production d'électricité. Les combustibles à l'oxyde d'uranium (UOX) déchargés des 58 réacteurs EDF en opération sont actuellement traités par Areva dans ses usines de La Hague : des résidus sont alors séparés de l'uranium et du plutonium, ce sont les produits de fission et actinides mineurs, ainsi que les structures mécaniques des assemblages de combustible (tronçons de gaines, pièces d'embouts). Il s'y ajoute des déchets d'exploitation des réacteurs nucléaires (grappes de contrôle ou de commande), ainsi que des déchets d'exploitation et de maintenance des usines de traitement (déchets dits « technologiques », tels que des pièces remplacées ou obsolètes, contaminées par les matières radioactives traitées, des effluents liquides...). Des déchets proviennent aussi de l'usine aujourd'hui arrêtée de Marcoule, qui a traité des combustibles de la filière de réacteurs de première génération UNGG (Uranium naturel, graphite gaz).

Les déchets HA et MAVL issus d'autres activités que la production électronucléaire (recherche, défense) sont le plus souvent des déchets technologiques, ainsi que des résidus de traitement d'effluents. On notera par ailleurs l'existence d'une petite quantité de combustibles usés issus généralement de réacteurs de recherche, qui constituent des déchets ultimes car ne pouvant être traités dans des conditions techniques et économiques satisfaisantes.

Les déchets sont conditionnés par leurs producteurs⁶. Le colis ainsi produit est dénommé « colis primaire », pour le distinguer du « colis de stockage » : le colis de stockage est constitué du colis primaire placé dans un conteneur de stockage, forme sous laquelle les déchets seront placés dans les alvéoles de stockage (cf. chapitre 3).

⁶ Le conditionnement consiste à solidifier, immobiliser les déchets qui ont été engendrés sous une forme dispersable et à les placer dans un conteneur qui en facilite la manutention et l'entreposage dans les installations industrielles.

Une partie des déchets HA et MAVL sont d'ores et déjà produits, et entreposés, sous forme conditionnée ou non, sur les sites de production. D'autres sont à produire, soit avec un conditionnement dans la continuité du fonctionnement des installations nucléaires existantes, soit avec des adaptations qui ne sont pas encore figées.

La loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 dispose que « les propriétaires de déchets de moyenne activité à vie longue produits avant 2015 les conditionnent au plus tard en 2030 ».

Par ailleurs, l'Andra est chargée « d'établir, de mettre à jour tous les trois ans et de publier l'inventaire des matières et déchets radioactifs présents en France ainsi que leur localisation sur le territoire national ».

Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs « dresse le bilan des modes de gestion existants des matières et des déchets radioactifs, recense les besoins prévisibles d'installations d'entreposage ou de stockage, précise les capacités nécessaires pour ces installations et les durées d'entreposage et, pour les déchets radioactifs qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif, détermine les objectifs à atteindre ». Le Plan national est mis à jour tous les trois ans.

Conformément au décret du 16 avril 2008 fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, l'Andra a proposé en 2009 une mise à jour du modèle d'inventaire des déchets à prendre en compte pour la conception du stockage réversible profond (Andra, 2009d). Un inventaire des capacités d'entreposage existantes et des propositions d'options d'entreposage à étudier après 2009 en complémentarité avec le stockage a également été réalisé (Andra, 2009a).

2.2 Les déchets de haute activité (HA)

Les déchets vitrifiés

Les déchets de haute activité sont, pour l'essentiel, issus des combustibles usés. Les produits de fission et les actinides mineurs (neptunium, américium et curium) sont séparés de l'uranium et du plutonium lors du traitement des combustibles usés. Ils sont solidifiés par calcination et incorporés dans une matrice de verre confinante. Le verre est coulé en température dans un conteneur en acier inoxydable. Ce conditionnement offre des performances de sûreté élevées dès l'entreposage. La haute activité β - γ des déchets HA vitrifiés génère un dégagement thermique important, qui décroît dans le temps, principalement avec la décroissance radioactive de produits de fission de période d'environ trente ans (césium 137, strontium 90).

La vitrification a été développée dans des installations pilotes, principalement l'atelier pilote de vitrification de Marcoule (« PIVER ») aujourd'hui arrêté. Elle a été mise en œuvre industriellement dans trois ateliers : Atelier de vitrification de Marcoule (« AVM »), démarré en 1978, ateliers de vitrification « R7 » et « T7 » de La Hague, démarrés respectivement en 1989 et 1992.

Les colis « PIVER », produits entre 1969 et 1981, sont composés en majorité de verres issus du traitement des combustibles de la filière « UNGG ». Ils représentent un volume limité (11 m³). Compte tenu de leur date de production, l'activité radiologique des colis a considérablement décliné. Le dégagement thermique résiduel est de l'ordre d'une trentaine de watts par colis (en moyenne). Les colis de déchets vitrifiés sont actuellement entreposés dans le bâtiment 213, mis en service en 1969 dans l'atelier pilote de Marcoule (cf. Figure 2.2-1).

Les colis « AVM », produits entre 1978 et 1987, sont issus du traitement des combustibles usés de réacteurs UNGG. Leur puissance thermique moyenne est de 155 watts à l'horizon 2025. L'Atelier de vitrification de Marcoule dispose d'une capacité d'entreposage de 665 m³.



Figure 2.2-1 L'atelier pilote de Marcoule APM (source CEA)

Dans les usines de La Hague, les solutions de produits de fission vitrifiées sont conditionnées dans un conteneur en acier inoxydable dit conteneur standard de déchets vitrifiés (Figure 2.2-2). En général, le dégagement thermique est plus élevé que pour les colis précédents (Figure 2.2-3). Plusieurs colis types sont définis dans le modèle d'inventaire pour décrire les déchets vitrifiés existants et futurs.

Plusieurs installations d'entreposage permettent de gérer sur le site de La Hague les colis de déchets vitrifiés. Il s'agit d'une part des entrepôts attenants aux deux ateliers de vitrification R7 et T7, d'autre part de l'« Extension des entreposages des verres Sud-Est » (E-EV-SE, cf. Figure 2.2-4). Cet ensemble dispose actuellement d'une capacité cumulée de 2 174 m³. Les entrepôts des ateliers R7 et T7 ont été mis en service respectivement en 1989 et 1992 et les deux modules existants d'E-EV-SE sont opérationnels depuis 1996. E-EV-SE est de conception modulaire. La construction d'une première extension a commencé en 2009. Elle apportera une capacité d'entreposage additionnelle de 1 474 m³.

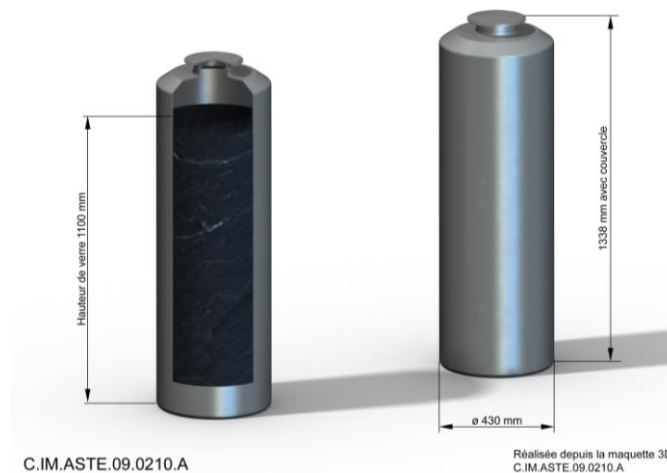


Figure 2.2-2 Conteneur standard de déchets vitrifiés (CSD-V)

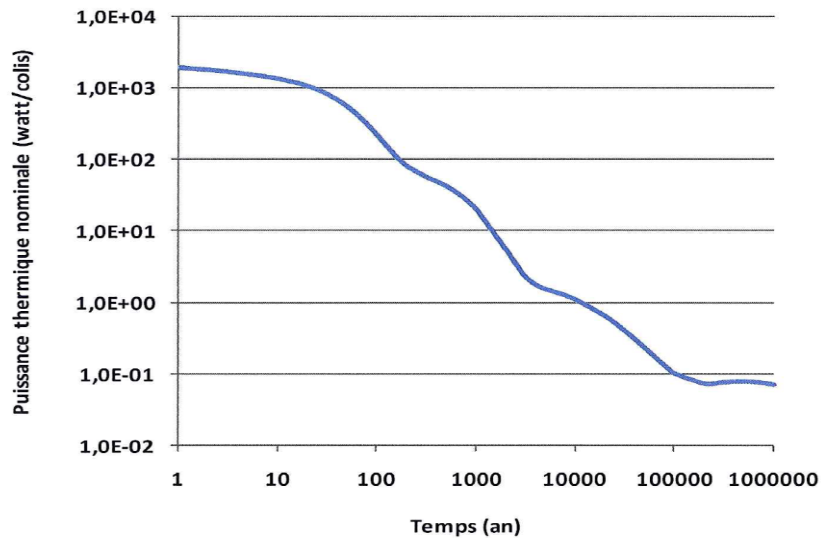


Figure 2.2-3 *Décroissance de la puissance thermique du colis-type C1 dans le temps (Andra, 2009d)*



Figure 2.2-4 *E-EV-SE à La Hague (source Areva)*

Les combustibles usés non traités

Les combustibles non traités (dits « CU3 ») inclus dans le modèle d'inventaire comprennent en particulier des combustibles résiduels issus de réacteurs « UNGG », des combustibles issus d'activités de recherche, des combustibles de la propulsion nucléaire. Quelques sources scellées usagées au strontium 90 sont également identifiées comme susceptibles d'un stockage géologique profond avec les déchets HA.

A Cadarache, l'installation d'entreposage à sec « CASCAD » (casemate d'entreposage à sec de Cadarache) accueille des combustibles usés du CEA qui ne seront pas traités ainsi que des combustibles usés à l'uranium métal de la propulsion navale. L'installation CASCAD a été mise en service en 1990.

Les combustibles usés issus de la production électronucléaire sont considérés comme des matières, qui sont traitées pour réduire la quantité et la nocivité des déchets radioactifs. Conformément au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, des études sont menées à titre conservatoire sur le stockage direct de ces combustibles usés. Ces études visent en particulier à poursuivre les recherches sur leur comportement à long terme et à s'assurer de l'absence de caractère rédhibitoire de l'architecture qui sera proposée dans le dossier de demande d'autorisation de création pour le stockage éventuel de combustibles usés.

2.3 Les déchets de moyenne activité à vie longue (MAVL)

Les déchets de moyenne activité à vie longue se caractérisent par une activité β - γ faible ou moyenne, et, en conséquence, par un dégagement thermique négligeable ou faible. Ils représentent le plus grand nombre de colis, ainsi qu'une grande diversité de conditionnements. Certains colis de déchets MAVL contiennent des matières organiques ou de l'eau (dans le cas d'un conditionnement recourant au ciment), qui génèrent de l'hydrogène gazeux sous l'effet de la radiolyse. Ces colis émettent aussi des radionucléides gazeux.

Les déchets MAVL conditionnés sur le site de La Hague

Une partie des déchets sont directement issus des combustibles usés traités dans les usines du site. Il s'agit des éléments de structure des assemblages combustibles (gainés des crayons combustibles, pièces (embouts) situées aux deux extrémités de l'assemblage combustible et autres accessoires tels que les grilles). Ces déchets de structure sont actuellement compactés et conditionnés dans des conteneurs standards, dont la géométrie externe est pratiquement identique à celle des déchets HA vitrifiés sur le site. Leur puissance thermique est de l'ordre de 15 à 20 watts. Elle est due essentiellement au cobalt 60. Elle diminue dans le temps avec la décroissance radioactive rapide de ce radionucléide, dont la période est de 5,3 années.

Sur le site de La Hague, l'entreposage des coques compactées reçoit les colis de déchets de structure et technologiques compactés. Cet entrepôt d'une capacité de 3 806 m³ a été mis en service en 2002. Une extension est prévue à l'horizon 2022-2025.

D'autres types de déchets MAVL sont liés à l'usage et au démantèlement des installations, constitués des déchets de maintenance et de démontage des équipements (appelés communément « déchets technologiques »), des déchets de traitement des eaux de piscines d'entreposage des combustibles usés avant traitement et des résidus de traitement chimique des effluents radioactifs. Ces différentes familles sont identifiées dans le modèle d'inventaire et font l'objet de conditionnements spécifiques.

Les colis de déchets technologiques cimentés ainsi que les colis de coques et embouts cimentés produits jusqu'en 1995 sont accueillis dans les entrepôts de déchets solides, qui offrent une capacité totale de 14 331 m³. Les colis MAVL de boues bitumées sont entreposés dans le bâtiment « S » (4 760 m³), mis en service en 1987, complété en 1995 par le bâtiment « ES » (6 426 m³).

Les déchets MAVL conditionnés sur le site de Marcoule

Comme à La Hague, les déchets MAVL conditionnés à Marcoule comprennent des déchets de structure de combustibles, des déchets technologiques liés à l'usage des installations ainsi qu'à leur démantèlement, et enfin des résidus de traitement chimique des effluents radioactifs (issus de l'exploitation et du démantèlement).

Les résidus d'effluents liquides bitumés dans la station de traitement des effluents de Marcoule, démarrée en 1966, constituent une part significative du modèle d'inventaire. Les colis produits ont été entreposés dans des fosses et dans des casemates. Les colis qui étaient entreposés dans les fosses de la zone nord du site ont tous été retirés. Cependant, la majorité des fûts anciens est encore entreposée dans les casemates n° 1 à 13 (partie sud du site). Ces casemates ont été construites à partir de 1966. Les fûts en sont retirés progressivement puis reconditionnés. Cette opération est en cours sur les casemates n°1 et 2 et devrait s'achever à l'horizon 2035 pour l'ensemble des casemates n°1 à 13. L'entreposage intermédiaire polyvalent (EIP) accueille des colis anciens MAVL ainsi reconditionnés. Cette installation de conception modulaire est constituée aujourd'hui de deux alvéoles mis en exploitation en 2000. Leur capacité totale est de 4 370 m³.



Figure 2.3-1 Vue intérieure de l'entreposage intermédiaire polyvalent EIP et fût EIP en acier inoxydable de 380 litres (source CEA)

Les déchets MAVL conditionnés sur les autres sites

Le modèle d'inventaire inclut également les déchets MAVL conditionnés sur les sites de Cadarache et de Valduc ainsi que les déchets d'exploitation et de déconstruction des réacteurs électronucléaires dont le conditionnement est prévu sur le site de Bugey.

Jusqu'en 2006, les colis MAVL du centre de Cadarache faiblement irradiants et moyennement irradiants étaient placés pour entreposage dans l'INB 56 (Parc d'entreposage des déchets radioactifs). Cette installation a été mise en service en 1963 et a été mise en cessation définitive d'exploitation en 2007. Après retrait de l'INB 56 et caractérisation, les colis sont placés dans les nouvelles installations de Conditionnement et d'Entreposage de Déchets RADioactifs « CEDRA ».



Figure 2.3-2 Bâtiments de l'entrepôt CEDRA à Cadarache (source CEA)

3

Le stockage en formation géologique profonde

3.1	<i>Introduction</i>	34
3.2	<i>Fonctions de sûreté du stockage</i>	34
3.3	<i>Description générale du centre de stockage</i>	36
3.4	<i>Esquisses de chroniques de stockage</i>	40

3.1 Introduction

« 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 » (loi de programme du 28 juin 2006).

Ce stockage est étudié dans la couche argileuse du Callovo-oxfordien, investiguée au moyen du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. Le dossier remis par l'Andra en 2005 et les évaluations scientifiques qui en ont été faites ont montré la faisabilité de principe du stockage dans la couche étudiée (Andra, 2005). Cette faisabilité reposait sur des concepts techniques simples et robustes. Les études et recherches menées depuis ont exploré des pistes d'optimisation et précisé les options de base en vue de la conception d'un avant-projet de centre de stockage. La définition en 2009, d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie, propice à l'implantation des installations souterraines de stockage, est associée à l'identification de zones potentielles d'implantation des installations de surface.

Les futures études d'avant-projet et les travaux de reconnaissance approfondie (menés en 2010-2011) permettront de préciser la description technique des installations. Le projet fera l'objet d'un débat public envisagé en 2013, qui devrait notamment examiner des scénarios possibles d'entreposage-transport-stockage des déchets et d'implantation des installations. Intégrant les enseignements de ce débat, l'Andra remettra un dossier de demande d'autorisation de création du centre de stockage à fin 2014, en permettant une instruction technique et scientifique en 2015.

Sous réserve d'autorisation, suite à une période de construction du centre, la mise en exploitation est envisagée à l'horizon 2025. Cette mise en exploitation sera vraisemblablement progressive, commençant probablement par des essais en actif et la réalisation de premiers ouvrages pilotes, avant d'atteindre la capacité opérationnelle du centre en termes de flux de colis mis en stockage.

Ce chapitre rappelle d'abord les fonctions de sûreté du stockage ; si ces fonctions présentent des similitudes avec celles d'un entreposage dans une première période, elles deviennent spécifiques au-delà. Il expose ensuite les solutions techniques étudiées pour la conception du centre de stockage. Enfin, il esquisse un scénario possible et des chroniques de mise en stockage, en illustrant la complémentarité de l'entreposage et du stockage.

3.2 Fonctions de sûreté du stockage

L'objectif fondamental du stockage en formation géologique profonde est rappelé par le Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde (ASN, 2008) : « La protection des personnes et de l'environnement constitue l'objectif fondamental assigné au stockage des déchets en formation géologique profonde. Elle doit être assurée envers les risques liés à la dissémination de substances radioactives et de toxiques chimiques ».

La protection de l'homme et de l'environnement repose sur l'accomplissement de fonctions de sûreté et sur le respect d'exigences de sûreté de conception et d'exploitation qui garantissent leur maintien dans toutes les situations de fonctionnement ou de configurations pour lesquelles elles sont requises.

En exploitation, les fonctions de sûreté d'un stockage de déchets radioactifs sont comparables à celles de toute autre installation nucléaire, notamment protéger le personnel, le public et l'environnement des risques de dissémination des substances radioactives et d'exposition externe aux rayonnements ionisants.

Sur la base de l'analyse des risques recensés sur le stockage, ces fonctions de sûreté sont les suivantes :

- Confiner les substances radioactives contenues dans les déchets, de manière à se prémunir contre le risque de dispersion : cette fonction est assurée par les colis et par un ensemble de dispositions en cas d'accident d'exploitation (chute, incendie).

- Protéger les personnes contre l'irradiation : la protection vis-à-vis de l'irradiation se traduit par l'interposition d'écrans de protection fixes ou mobiles et par l'éloignement des opérateurs vis-à-vis des colis.
- Évacuer les gaz de radiolyse, à la fois vis-à-vis de risques d'explosion et de leur potentielle toxicité : l'évacuation des gaz de radiolyse formés par certains déchets MAVL évite leur accumulation dans les colis et installations de stockage, et l'atteinte de la limite d'explosivité en présence d'oxygène ; la ventilation contribue à cette fonction.
- Assurer la sûreté vis-à-vis du risque de criticité : il s'agit d'éviter un accident de criticité, dont les conséquences pourraient notamment remettre en cause les fonctions de confinement et de protection contre l'irradiation. Cela implique de maîtriser le contenu des déchets en matières fissiles et de vérifier la compatibilité des géométries des colis et ouvrages de stockage concernés par ce risque.
- Évacuer la puissance thermique résiduelle des déchets : il s'agit de protéger les travailleurs contre les risques liés à une élévation de température due aux dégagements de chaleur des déchets. Cette fonction permet aussi de protéger les colis d'une montée excessive en température qui pourrait dégrader leurs propriétés de confinement ou altérer les composants du stockage.

Les recherches sur le stockage en formation géologique profonde s'inscrivent dans l'objectif de « *prévenir ou limiter les charges qui seront supportées par les générations futures* » (loi n° 2006-739 du 28 juin 2008, article 2). Aussi, le stockage est conçu de manière à pouvoir être fermé. Après cette fermeture, la protection de l'homme et de l'environnement sera assurée par la mise en œuvre de dispositions passives. En effet, le Guide de sûreté précise : « *Après la fermeture de l'installation, la protection de la santé des personnes et de l'environnement ne doit pas dépendre d'une surveillance et d'un contrôle institutionnel qui ne peuvent pas être maintenus de façon certaine au-delà d'une période limitée* ».

La passivité du stockage après la fermeture constitue la différence fondamentale de fonctionnement avec un entreposage. Ces dispositions passives sont multiples : en se complétant mutuellement, elles optimisent les performances globales du système ; en offrant une certaine redondance, elles permettent de mieux résister à une défaillance ou à une perturbation externe (notamment une intrusion humaine involontaire).

Ainsi, les fonctions de sûreté du stockage accomplies de manière passive après fermeture sont les suivantes :

- Isoler les déchets des phénomènes de surface et des intrusions humaines : le stockage en profondeur met les déchets à l'abri de phénomènes d'érosion et des activités humaines courantes, qui n'affectent, à l'échelle de centaines de milliers d'années, qu'une épaisseur superficielle de terrain.
- S'opposer à la circulation d'eau, limiter le relâchement des radionucléides et les immobiliser dans le stockage, retarder et atténuer la migration des radionucléides :

Les formations géologiques profondes sont saturées en eau. L'arrivée d'eau et son renouvellement au voisinage des déchets constituent le principal risque à long terme d'endommagement des colis, susceptible d'aboutir au relâchement de radionucléides ou de toxiques chimiques à l'intérieur du stockage. Cette eau constitue aussi un vecteur potentiel de transport des radionucléides.

Pour s'opposer à la circulation d'eau, limiter le relâchement des radionucléides dans l'eau, retarder et atténuer leur migration en phase aqueuse, on mobilise les propriétés favorables des argilites du Callovo-Oxfordien (faible perméabilité, capacité de rétention, propriétés géochimiques, environnement hydrogéologique). L'âge de la formation, sa stabilité tectonique, la profondeur d'implantation du stockage permettent d'envisager la permanence de ces propriétés favorables aux échelles de temps étudiées après la fermeture, de celle du millier d'années à celle de plusieurs centaines de milliers d'années.

Les propriétés favorables du milieu géologique doivent être préservées, en maîtrisant les perturbations qui pourraient résulter du creusement et de l'exploitation des ouvrages souterrains du stockage, des matériaux rapportés et de la présence des déchets, en particulier de la charge thermique qu'ils engendrent.

Le stockage doit ainsi dissiper la chaleur produite par la radioactivité des déchets HA. En effet, l'échauffement de la roche pourrait y engendrer des processus couplés complexes si la température excédait 100 °C. Il pourrait aussi provoquer des transformations minéralogiques des argilites si des températures trop élevées étaient maintenues sur de longues durées. Pour rester dans un domaine de fonctionnement où les phénomènes sont connus et réduire l'endommagement des argilites, la conception du stockage limite la température à 90 °C au contact de l'alvéole de stockage et de la roche.

Une autre exigence concerne la maîtrise des déformations mécaniques dans la formation d'accueil. En effet, le caractère argileux de la roche étudiée limite sa résistance mécanique en cas de déformation. Lors du creusement et de l'exploitation des cavités, un soutènement et un revêtement soutiennent la roche et limitent ainsi ses déformations. A très long terme, de nouvelles déformations pourraient intervenir à mesure de l'altération des matériaux ouvragés. L'intensité des déformations dans la roche est alors reliée au volume des vides résiduels dans les colis et les ouvrages, que l'on cherchera donc à minimiser.

On cherchera aussi à préserver la mémoire du stockage. L'isolement durable des déchets radioactifs dans un stockage profond n'impose pas la mémoire à long terme de l'existence du stockage. Toutefois la préservation de cette mémoire constitue un thème des recherches engagées (cf. chapitre 6).

3.3 Description générale du centre de stockage

Les installations de surface

Au plan industriel, les installations de surface comprennent un terminal ferroviaire et/ou routier pour le transport des colis de déchets, des ateliers nucléaires, une ou des usines de ventilation des installations souterraines, des moyens de gestion des déblais et diverses installations de soutien aux chantiers souterrains et aux opérations nucléaires.

Des ateliers nucléaires réaliseront le contrôle et le déchargement des emballages de transport utilisés pour amener des colis depuis les sites de production, ainsi que le chargement/déchargement des hottes pour le transfert des colis de stockage entre la surface et les installations souterraines. Seuls des colis ne présentant pas de contamination surfacique externe labile ni de risque de mise en suspension de particules radioactives seront pris en charge. Ces ateliers ou des ateliers dédiés réaliseront aussi des fonctions de contrôle des colis et d'assemblage des colis de stockage, selon la répartition de ces activités entre les sites de production et le site de stockage (cette répartition pourra être spécifique à chaque famille de colis).

L'implantation des ateliers nucléaires de surface est flexible par rapport à celle des installations souterraines de stockage. Un transfert des colis par descenderie ouvre la possibilité d'éloigner en surface le bâtiment d'une distance pouvant aller jusqu'à cinq kilomètres environ (cf. Figure 3.3-1).

Les autres installations de surface consistent en des ateliers de maintenance et magasins, des moyens de préparation des matériaux de construction, puis de remblayage et de scellement des installations souterraines, des vestiaires, des bureaux, une zone entreprises etc.

Les moyens de gestion des déblais comprendront des verses. Leurs dimensions résulteront des volumes d'argilite excavés. Pour la zone de stockage de déchets HA, qui en générera à terme une part importante, ces volumes dépendront de la durée préalable d'entreposage (voir infra). Une partie des volumes excavés sera entreposée en prévision des décisions de remblayage des galeries souterraines.

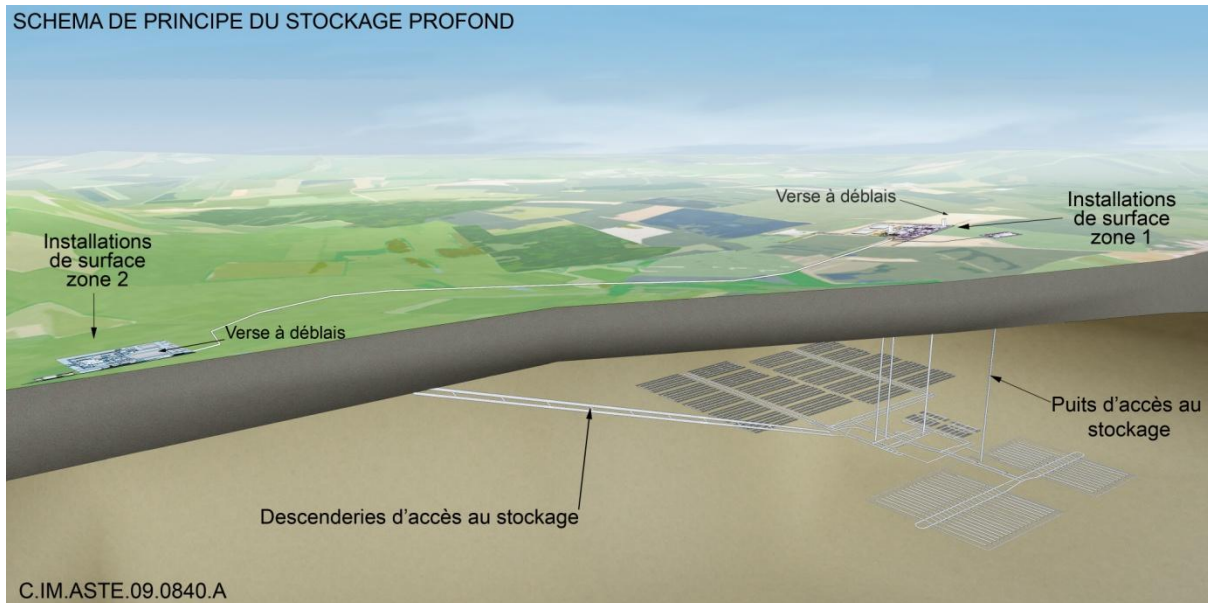


Figure 3.3-1 Exemple d'implantation possible des installations de surface et souterraines

Les installations souterraines

Les installations souterraines du centre de stockage sont constituées de galeries de liaison pour assurer les différents flux liés aux travaux et à l'exploitation nucléaire, ainsi que des cavités souterraines, appelées alvéoles, creusées dans la formation d'argilite, et recevant les colis de stockage.

L'architecture de stockage regroupe les alvéoles des différentes catégories de déchets au sein de zones de stockage spécifiques. Les zones de stockage de déchets MAVL et de déchets HA sont ainsi physiquement distinctes. Cela assure une indépendance phénoménologique entre ces zones dans la durée.

La conception d'ensemble de chaque zone de stockage, et son implantation proche du milieu de la couche argileuse, favorisent les fonctions de sûreté du stockage vis-à-vis du transfert des radionucléides par voie aqueuse.

Pour la construction des ouvrages souterrains, la mise en stockage des déchets, et la gestion des installations jusqu'à leur fermeture, l'accès s'effectue par des puits verticaux et des descenderies entre la surface et le niveau de stockage, puis par des galeries de liaison jusqu'aux alvéoles de stockage. La localisation de ces ouvrages est aussi définie pour favoriser les fonctions de sûreté à long terme, principalement la limitation de la circulation d'eau.

Les zones de stockage sont réalisées progressivement, par tranches successives, au fur et à mesure de l'accueil de nouveaux colis. Pour cela, elles sont conçues de façon modulaire. L'architecture d'ensemble est évolutive : les premiers ouvrages d'accès et les premières tranches de stockage ne figent pas les solutions et les moyens techniques qui pourront être mis en œuvre pour les tranches suivantes, permettant de bénéficier du retour d'expérience et des progrès techniques.

Lorsqu'il est décidé de fermer des modules puis des zones du stockage, les galeries d'accès et de liaison sont intégralement remblayées pour limiter les déformations mécaniques à long terme autour des galeries, après que leur revêtement aura perdu son intégrité mécanique. Des scellements de faible perméabilité sont implantés de part en part pour compartimenter le stockage (ou le « fractionner »⁷) et

⁷ Le fractionnement du stockage augmente sa résistance à des situations d'évolution altérées, comme une intrusion involontaire par forage profond. Seule une « fraction » du stockage est ainsi concernée par cette situation, réduisant son impact radiologique.

contribuer à limiter la circulation d'eau. Cette fermeture peut procéder par étapes. De même, lorsqu'il est décidé de fermer le stockage, les liaisons surface-fond sont remblayées et scellées.

Stockage des colis de haute activité (HA)

La conception des alvéoles de stockage des déchets HA résulte (i) de la recherche d'un environnement physico-chimique adapté aux colis (ii) du dimensionnement thermique associé à une dissipation de la chaleur par conduction dans la roche, ce dernier conduisant à limiter la charge thermique par unité de surface, à l'échelle de l'alvéole et à celle du stockage.

Les alvéoles de stockage des déchets HA (et CU3) sont des forages ou microtunnels horizontaux borgnes, d'environ 0,7 mètre de diamètre excavé. Leur longueur a été limitée à environ 40 mètres, néanmoins la faisabilité d'une longueur plus grande est étudiée comme une piste de progrès. Ils sont revêtus d'un chemisage métallique qui soutient l'argilite : il permet la manutention des colis tant pour leur mise en place que leur récupération éventuelle et, à plus long terme, il protège le colis de stockage d'un chargement mécanique par l'argilite (cf. chapitre 4). Pendant une première période de réversibilité, l'étanchéité à l'eau du chemisage limite les possibilités de corrosion et facilite le retrait éventuel des colis stockés (cf. chapitre 4).

Les alvéoles de stockage sont regroupés en modules (un module HA comporte quelques centaines d'alvéoles). Les modules sont construits, puis remplis en colis successivement.

Les colis de stockage sont descendus dans les installations souterraines et transférés au droit des alvéoles au moyen d'une « hotte » récupérable assurant la protection vis-à-vis de l'exposition externe, afin de maintenir l'ensemble des galeries accessibles aux opérateurs (Figure 3.3-2). Chaque colis est extrait de la hotte à l'entrée de l'alvéole puis est poussé jusqu'à son emplacement de stockage. Un retrait de colis s'effectue par inversion de ce processus.

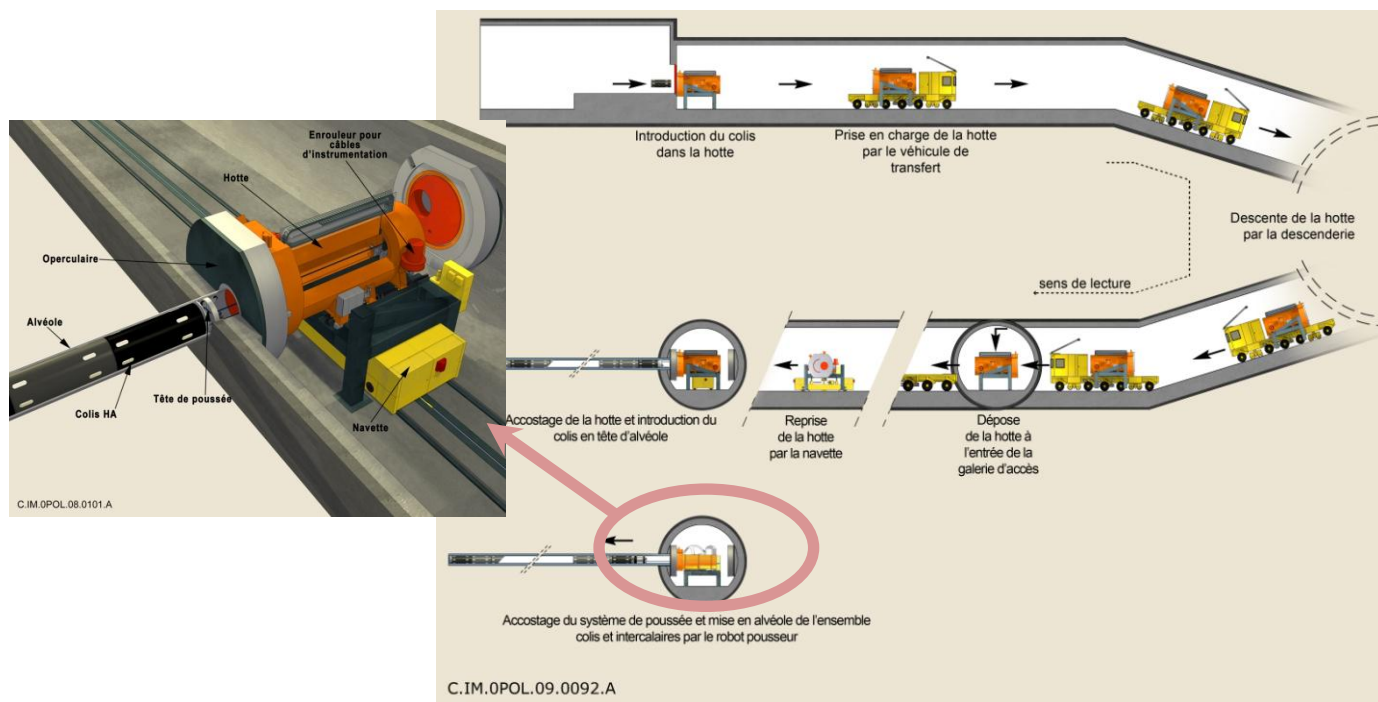


Figure 3.3-2 Principe de transfert des colis HA en alvéole de stockage

Le fort dégagement thermique des colis de déchets HA produits actuellement implique de les gérer en entreposage avant de les mettre en stockage pour permettre une décroissance de la puissance thermique. Les colis actuellement produits doivent ainsi être entreposés au moins une soixantaine d'années avant mise en stockage, afin de respecter les critères de température donnés plus haut

(soit une mise en stockage des premiers colis de ce type au plus tôt en 2050). L'emprise dans la formation hôte du stockage de ces déchets dépendra au final de leur durée d'entreposage : elle diminuera de l'ordre du tiers si le stockage intervient au bout d'une centaine d'années d'entreposage au lieu de 60 années.

Stockage des colis de moyenne activité à vie longue (MAVL)

Les alvéoles de stockage de déchets MAVL sont des tunnels horizontaux de diamètre inférieur à 10 mètres et dont la longueur est limitée à quelques centaines de mètres.

Le revêtement de la galerie, constitué de béton, assure la stabilité mécanique de l'ouvrage. Retenu d'abord pour ses qualités mécaniques et sa durabilité favorables à la réversibilité, le béton du revêtement contribue aussi aux fonctions de sûreté à long terme du stockage grâce à ses propriétés physico-chimiques (limiter le relâchement des radionucléides et les immobiliser au plus près des déchets). Sa section intérieure est de forme rectangulaire et délimite une chambre dans laquelle les colis de stockage sont empilés. Les jeux entre colis de stockage sont minimisés, ce qui facilite les opérations de fermeture.

La chambre de stockage constitue un volume irradiant dans lequel les colis sont manutentionnés par un équipement télé-opéré. La tête des alvéoles est équipée d'une cellule de manutention permettant l'extraction des colis de stockage contenus dans les hottes qui les ont amenés depuis la surface, et la protection radiologique des opérateurs susceptibles d'intervenir dans la galerie d'accès (Figure 3.3-3).

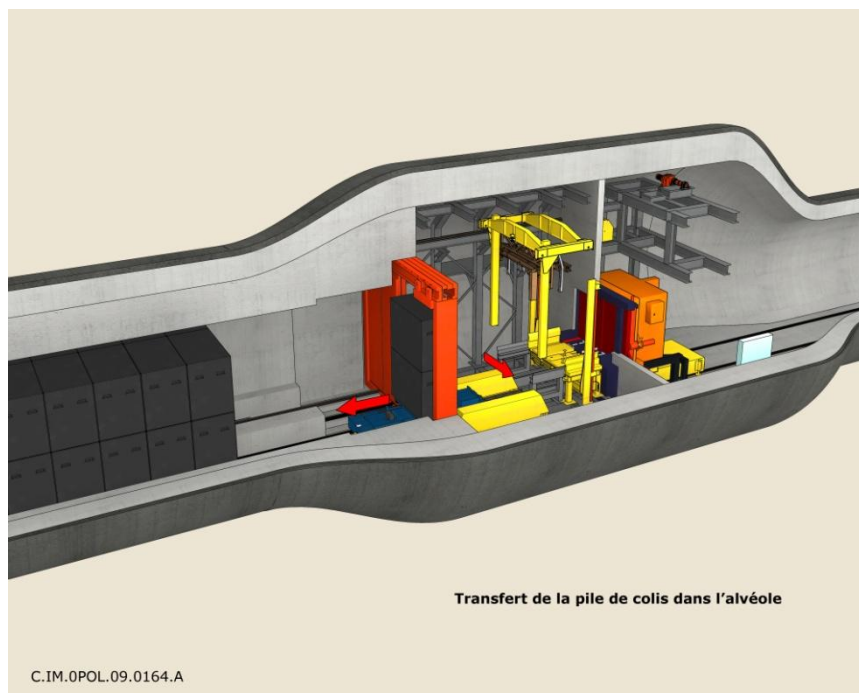


Figure 3.3-3

Principe de mise des colis MAVL en alvéole de stockage (cas du pré-empilage à l'entrée des alvéoles)

3.4 Esquisses de chroniques de stockage

Pour être acceptés en stockage, les colis de déchets HA ou MAVL devront être conformes à des spécifications d'acceptation. La conformité des caractéristiques de chaque famille de colis sera vérifiée suivant un processus d'agrément. La conformité des colis fabriqués puis livrés sera suivie par des actions de surveillance de la qualité⁸ et par des contrôles.

Des projets de spécifications d'acceptation seront joints à la demande d'autorisation de création du centre de stockage. Ces spécifications deviendront applicables lorsqu'elles auront pris en compte les prescriptions techniques d'exploitation établies par l'Autorité de sûreté nucléaire.

Sans préjudice du futur processus d'agrément, un scénario possible de mise en stockage des déchets HA et MAVL a été simulé pour illustrer le rôle complémentaire que peut jouer l'entreposage (Andra, 2009a). Fondé sur l'Inventaire national, cet exercice de simulation ne préjuge pas des travaux futurs entre l'Andra et les producteurs de déchets pour mettre au point les chroniques de livraison de colis sur le centre de stockage.

Dans cet exercice, l'investissement déjà réalisé pour créer les capacités d'entreposage existantes et celui correspondant aux besoins à satisfaire d'ici 2015 sont valorisés en cherchant à utiliser ces capacités jusqu'à la date de leur cessation définitive d'exploitation indiquée dans l'Inventaire national.

Le renouvellement d'un entreposage représente un investissement généralement important. Le retrait des colis hors d'un entreposage en cessation définitive d'exploitation pour les placer dans une nouvelle installation peut avoir un impact en termes de dosimétrie des travailleurs.

Aussi, sous réserve de la disponibilité des installations de stockage et de l'acceptabilité des différents types de colis, une voie d'optimisation de la gestion des déchets conditionnés consiste à mettre progressivement les colis en stockage à partir de la cessation définitive d'exploitation de l'installation d'entreposage qui les accueille.

Cependant une telle stratégie implique de disposer d'autres capacités d'entreposage pour soutenir la réversibilité du stockage.

Par ailleurs, une mise en stockage anticipée est envisageable lorsque les capacités d'entreposage ainsi libérées sont utilisées pour accueillir d'autres colis qui ne pourraient pas être stockés immédiatement, ou pour mieux utiliser dans la durée la capacité opérationnelle du centre de stockage.

La configuration du centre étudiée aujourd'hui permet d'y réaliser simultanément les opérations de mise en stockage de colis et la construction de nouveaux modules de stockage. Cette co-activité est gérée par une séparation physique des deux types d'activités, la zone en exploitation nucléaire étant progressivement étendue avec l'avancée des travaux. Dans ce cadre, la mise en stockage des colis peut s'effectuer de manière continue dans la durée.

Sur la base de l'Inventaire national et des hypothèses retenues dans le document présentant les options d'entreposage (Andra, 2009a), une utilisation maximale des diverses capacités d'entreposage existantes permettrait une augmentation progressive du flux traité par les installations de stockage, jusqu'à cinq à six colis de stockage en moyenne par jour.

La Figure 3.4-1 présente une simulation du flux moyen de colis de stockage avec une hypothèse de mise en stockage dès 2050 des déchets HA fortement exothermiques. Elle ne prend pas en compte les futurs déchets de démantèlement (estimés de l'ordre de 10 000 m³ sous forme non conditionnée).

La Figure 3.4-2 présente les flux de colis de stockage dans l'hypothèse⁹ d'un début de mise en stockage des déchets HA avec une durée d'entreposage préalable de l'ordre de 90 à 100 ans.

⁸ Des actions de surveillance des productions sont d'ores et déjà menées en anticipation.

⁹ Cette hypothèse implique la création de capacités d'entreposage supplémentaires à l'horizon 2040 (Andra, 2009a).

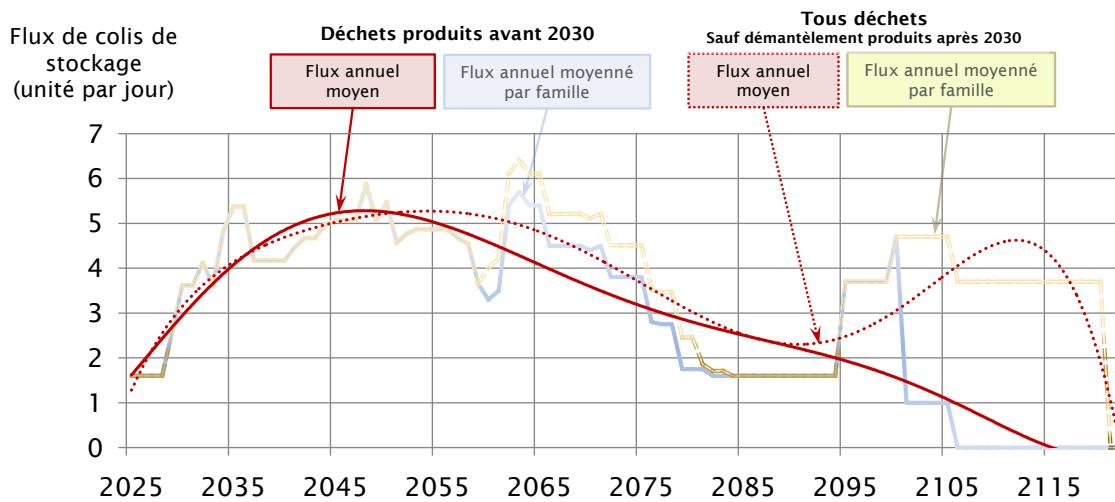


Figure 3.4-1 Simulation du flux journalier de la mise en alvéole des colis de stockage des déchets HA et MAVL, pour une mise en stockage des déchets HA fortement exothermiques au plus tôt (en nombre de colis de stockage par jour)

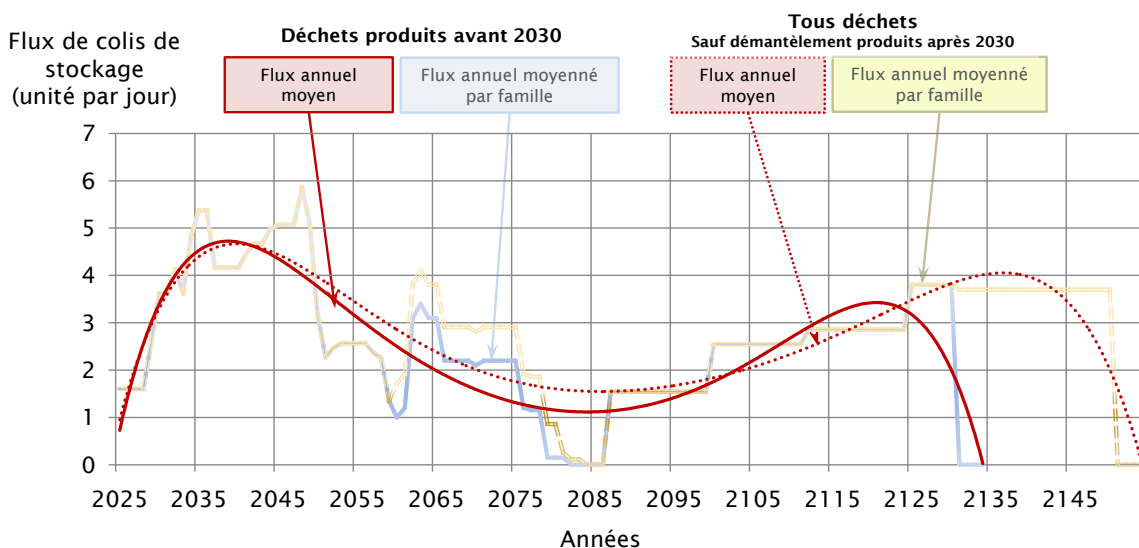


Figure 3.4-2 Simulation du flux de mise en alvéole des colis de stockage, pour une mise en stockage des déchets HA fortement exothermiques à un âge de l'ordre de 90 à 100 ans

Les études proposées au-delà de 2009 permettront de mieux évaluer l'impact des flux de mise en stockage sur les conditions d'exploitation du centre et sur les besoins en entreposage. A ce stade, l'influence du scénario de mise en stockage sur le parc d'emballages et de moyens de transport n'a pas été évaluée. Cette composante de la gestion des déchets devrait être prise en compte dans les études de scénarios de gestion des colis, au-delà de 2009.

4

Les options de conception en support à la réversibilité

<i>4.1</i>	<i>Options de conception HA</i>	<i>44</i>
<i>4.2</i>	<i>Options de conception MAVL</i>	<i>51</i>
<i>4.3</i>	<i>Entreposage en soutien à la réversibilité</i>	<i>58</i>
<i>4.4</i>	<i>Observation-surveillance du stockage</i>	<i>59</i>

4.1 Options de conception HA

4.1.1 Le conteneur de stockage

En vue de leur stockage, les colis « primaires » HA (et CU3) décrits au chapitre 2 sont placés dans un conteneur de stockage étanche à l'eau, formant ainsi des « colis de stockage » (cf. Figure 4.1-1).

Le conteneur de stockage (ou « surconteneur ») est dimensionné pour résister mécaniquement à la pression hydrostatique à la profondeur du stockage et limiter le débit de dose dans l'alvéole de manière à y atténuer la corrosion radiolytique. La conception du surconteneur interdit ainsi l'arrivée d'eau au contact du déchet a minima pendant la période thermique, caractérisée par une température supérieure à 50 °C (cette période est de l'ordre de 1000 ans pour le colis-type C6 du modèle d'inventaire).

L'acier non allié est retenu en référence pour réaliser le surconteneur. Ce matériau a été retenu pour son caractère simple et robuste. L'Andra étudie la possibilité de réutiliser dans le stockage des aciers recyclés provenant du démantèlement d'installations nucléaires.

Les procédés de réalisation du surconteneur ont été choisis pour limiter les facteurs de corrosion localisée induits par le processus de fabrication. La composition de l'acier est affinée lors de la fusion finale afin de favoriser la propreté inclusionnaire du métal. Le taux de carbone a été abaissé pour favoriser les opérations de soudage. Le forgeage ou le perçage étirage du corps (cf. Figure 4.1-2) améliorent la compacité du métal (corroyage), ce qui a pour effet de supprimer ou de réduire la taille des défauts volumiques présents dans les lingots issus de la fusion. La qualité métallurgique des composants du surconteneur est ensuite vérifiée durant toutes les étapes de la fabrication (analyse chimique, essais mécaniques sur éprouvettes, contrôle ultrasons...) suivant des procédures qualifiées et normalisées en fonction du processus de fabrication retenu.

Chaque surconteneur est constitué d'un corps et d'un couvercle préfabriqués. Les opérations d'assemblage du colis primaire et du surconteneur puis de fermeture s'effectuent en cellule blindée. La technique de soudage par faisceau d'électrons permet un soudage en pleine épaisseur.

Le surconteneur facilite les opérations de mise en place et de retrait éventuel du colis dans l'alvéole. Sa manutention est assurée par une gorge de préhension usinée directement dans le couvercle du surconteneur. La résistance de cette gorge a été vérifiée suivant les prescriptions du Code de Construction des Appareils à Pression (CODAP) et les règles préconisées par la Fédération Européenne de la Manutention (FEM).

Le surconteneur est doté de patins en céramique industrielle évitant un contact direct acier/acier entre le colis de stockage et le chemisage de l'alvéole de stockage. Cette disposition améliore le glissement du colis lors de sa manutention horizontale dans l'alvéole. Parmi les céramiques étudiées, la zircone présente l'avantage d'une faible conductivité thermique qui évite la formation de points chauds sur le chemisage. La validation des coefficients de glissement céramique / acier a permis de conforter le dimensionnement des équipements de mise en place et de retrait éventuel des colis.



Figure 4.1-1

Colis de stockage HA pour colis primaire type R7-T7



Figure 4.1-2

Corps de surconteneur percés-étirés avant usinage

4.1.2 L'alvéole et le module de stockage

L'alvéole de stockage HA (et CU3) (cf. Figure 4.1-3) est un micro-tunnel horizontal borgne d'environ 0,7 m de diamètre. Il est revêtu d'un chemisage¹⁰, dimensionné pour soutenir l'argilite et protéger durablement le surconteneur de déformations mécaniques. Le chemisage facilite les opérations de retrait éventuel des colis en préservant les jeux de manutention. Pour limiter la corrosion dans l'alvéole, des procédés industriels d'assemblage des tronçons du chemisage sont étudiés pour le rendre étanche à l'eau. Le retour d'expérience de tubages employés par l'industrie pétrolière permet d'envisager des durées d'étanchéité de plusieurs dizaines d'années au moins. Le fond du chemisage est fermé par une plaque d'étanchéité.

A l'interface avec la galerie d'accès, la tête d'alvéole est conçue pour protéger les opérateurs du rayonnement émis par les colis présents dans les alvéoles et lors des opérations de mise en place et de retrait éventuel. Des dispositions sont étudiées pour limiter le renouvellement d'air dans l'alvéole. La conception de la tête d'alvéole permet une libre dilatation thermique du chemisage. Des moyens de prélèvement de l'atmosphère interne de l'alvéole sont étudiés pour observer son évolution dans le temps. Lors de l'obturation de l'alvéole, la tête d'alvéole est comblée par un bouchon d'argile appuyé sur un bouchon de béton pour limiter les circulations d'eau et les déformations mécaniques à long terme.

Lors des opérations de manutention, un fourreau d'exploitation est mis en place dans l'insert en tête d'alvéole pour établir une continuité de la piste de glissement des colis avec le chemisage de la partie utile de l'alvéole. Le fourreau d'exploitation est extrait après le démontage de l'operculaire, mais l'insert reste en place. Ceci facilite la remise en configuration d'exploitation de l'alvéole, s'il est décidé de retirer les colis.

Les alvéoles de stockage sont regroupés en « modules » de quelques centaines d'alvéoles (cf. Figure 4.1-4). Le module est structuré autour de trois galeries d'accès aux alvéoles, les alvéoles étant disposés de part et d'autre et perpendiculairement à ces galeries. Cette disposition par ensemble de trois galeries permet d'assurer une grande sécurité de fonctionnement de l'aérage, même en cas d'incendie.

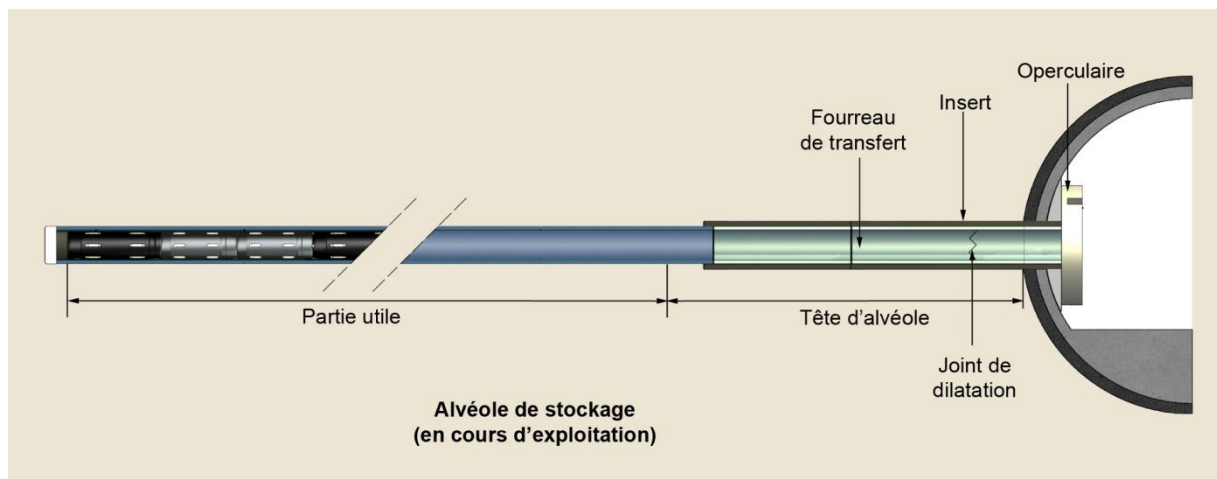


Figure 4.1-3 Alvéole HA (vue en coupe longitudinale)

¹⁰ Comme pour le surconteneur, l'acier non allié est retenu en référence à ce stade des études.

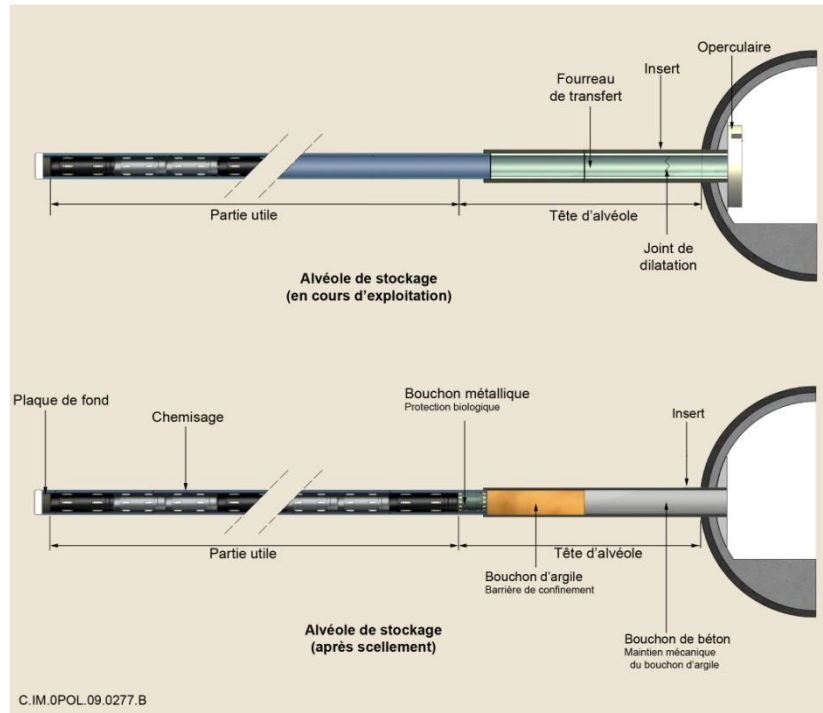


Figure 4.1-4 Module de stockage HA

4.1.3 Les procédés de manutention pour la mise en place et le retrait des colis

Les colis de stockage sont descendus dans les installations souterraines et transférés au droit des alvéoles dans une hotte blindée assurant la protection des personnes vis-à-vis de l'exposition externe dans l'ensemble des galeries de transfert (Andra, 2009c). A l'entrée de l'alvéole, le colis est extrait de la hotte puis introduit dans l'alvéole. La mise en place s'effectue par poussage jusqu'à son emplacement de stockage. Un retrait de colis s'effectue par inversion de ce processus.

Dans le cadre du projet européen « Esdred », des moyens de poussage et de retrait ont fait l'objet de démonstrations expérimentales. Les essais ont porté sur un système complet de mise en place des colis (navette de roulage et d'accostage, hotte de radioprotection, robot pousseur) dans un tronçon de galerie à l'échelle 1. Les essais ont permis de mettre à l'épreuve ce système et d'en préciser les performances.

Pour évaluer la capacité du système à récupérer des colis dans une hypothèse pénalisante de fortes déformations différées de l'alvéole, les bancs d'essais permettaient de simuler des défauts géométriques importants du chemisage : défaut de passage (éloignement de deux tronçons de chemisage), défaut d'alignement angulaire entre tronçons (cf. Figure 4.1-5), défaut d'alignement transversal. Ces situations n'ont conduit à aucune difficulté particulière pour le retrait de colis.

Un moyen complémentaire spécifique à la récupération de colis pourrait être développé pour pouvoir appliquer un effort de traction important, en cas de collage du conteneur sur le chemisage dans une hypothèse de forte corrosion suite à une évolution anormale de l'alvéole.

Dans la perspective du jalon de demande d'autorisation de création, le programme d'essais technologiques prévoit la réalisation au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne d'un prototype de tête d'alvéole HA et la mise en place d'un essai pour suivre sur la durée le comportement d'un alvéole en température. Les essais technologiques en surface seront poursuivis, en vue notamment de tester un nouveau système d'accostage hotte/tête d'alvéole HA.



Figure 4.1-5 Test de retrait d'un colis HA dans un alvéole fortement déformé

4.1.4 L'analyse phénoménologique

Le transitoire d'élévation de température

L'entreposage des déchets HA préalablement à leur mise en stockage permet une décroissance thermique importante. La puissance thermique résiduelle des déchets HA entraîne néanmoins un échauffement dans les alvéoles. La température est limitée à 100 °C au contact des colis par le dimensionnement du module de stockage (entraxe des alvéoles, espacement éventuel des colis dans les alvéoles au moyen d'intercalaires).

La chaleur diffuse dans la roche par conduction et le flux thermique qui atteint la galerie provient majoritairement du massif et non pas des composants métalliques de l'alvéole.

En phase d'exploitation, la ventilation de chaque galerie d'accès, de l'ordre de 10 m³/s, y limite fortement la température : l'augmentation de température de l'air de ventilation est de l'ordre de 5 °C en sortie du module après environ 10 ans. En prolongeant cette ventilation dans le temps, la température continuera à croître de quelques degrés tous les 10 ans, jusqu'à atteindre de façon asymptotique une température de l'ordre de 35 °C vers 40 ans avant de décroître lentement.

Conserver ouvertes toutes les galeries d'accès du stockage en maintenant un tel débit d'aéragé nécessiterait des galeries supplémentaires pour alimenter les modules en air frais. Aussi, on étudie la possibilité de diminuer le débit de ventilation dans les galeries d'accès des modules entièrement remplis. Une diminution de débit d'un facteur 10 conduirait à une température d'environ 40 °C après une dizaine d'années et 50 °C après 40 ans, l'humidité relative diminuant jusqu'à environ 10 %.¹¹ Au-delà de 40 ans environ, cette température diminue sous l'effet de la décroissance thermique des déchets. Pour réaliser les opérations de fermeture ou, le cas échéant, de retrait des colis, une ventilation plus importante serait remise en place permettant de revenir à des températures inférieures à 30 °C en quelques jours ou semaines selon les débits mis en œuvre. Au terme de

¹¹ Des températures supérieures peuvent être rencontrées dans d'autres domaines industriels (aciéries, fours verriers...).

cette période transitoire, le personnel pourrait alors travailler à nouveau dans ces galeries sans aménagement particulier.

La reprise du jeu fonctionnel à l'extrados du chemisage et la mise en charge mécanique du chemisage

Le chemisage est soumis dans un délai rapide après sa mise en place à une pression d'eau pouvant atteindre la pression hydrostatique. Au regard des débits de drainage dans les argilites évalués par simulations et observés au Laboratoire souterrain sur des forages de faible section, ce délai pourrait être de l'ordre de l'année.

Le comportement thermo-hydro-mécanique de l'argilite conduit à refermer progressivement le jeu en extrados du chemisage. Avec les vitesses de déformation observées au Laboratoire souterrain, cette refermeture interviendrait après quelques dizaines d'années. Le chemisage devra alors résister à la contrainte totale appliquée par l'argilite, y compris la surpression interstitielle résiduelle provoquée par l'élévation de température dans la roche, en tenant compte notamment du flambage.

La corrosion anoxique du chemisage en extrados et la production d'hydrogène

Au delà de quelques mètres de la galerie d'accès, les conditions d'oxydoréduction à l'extrados du chemisage sont anoxiques. La cinétique de corrosion y est par conséquent très faible, de sorte que l'épaisseur d'acier consommé reste d'ordre millimétrique sur une durée séculaire. Une légère production d'hydrogène interviendra. Cet hydrogène sera évacué par diffusion dans l'argilite et par migration vers la galerie d'accès où il serait alors évacué par la ventilation.

La tête d'alvéole est sous l'influence de la galerie d'accès ventilée. Elle pourrait ainsi se trouver dans un environnement partiellement saturé avec la présence simultanée d'eau et d'oxygène. Dans ces conditions, l'épaisseur d'acier consommé localement atteindrait un ordre plurimillimétrique à centimétrique pendant la période séculaire d'exploitation. Cela pourra être compensé par l'ajout d'une surépaisseur de corrosion.

Les conditions physico-chimiques au sein de l'alvéole

Les dispositions d'exploitation visent à limiter les échanges d'air entre l'alvéole et la galerie. On cherchera ainsi à étancher la tête d'alvéole après la mise en place des colis. Dans une première étape, le bouchon de radioprotection pourra être complété par un joint d'étanchéité. Cette étape peut être maintenue durablement avant l'obturation de l'alvéole avec un bouchon d'argile et de béton. Cette étanchéité à l'air de l'alvéole conduit rapidement à des conditions anoxiques.

Du fait de l'étanchéité à l'eau du chemisage, les colis de stockage HA se trouvent dans des conditions d'environnement sèches, garantissant leur intégrité physico-chimique. Une perte d'étanchéité n'entraînerait qu'une corrosion limitée dans l'alvéole, l'épaisseur concernée sur le surconteneur et l'intrados du chemisage restant inférieure au millimètre sur la période d'exploitation.

4.1.5 Dispositions envisagées pour l'observation-surveillance des alvéoles HA

Vis-à-vis de l'observation-surveillance, les alvéoles HA se caractérisent par un faible diamètre, une exposition au rayonnement et une température élevée, qui limitent la mise en place et l'utilisation de capteurs au sein même de l'alvéole. Les caractéristiques des alvéoles étant reproductibles du fait de leur conception, l'observation-surveillance pourra s'effectuer sur un échantillon représentatif d'alvéoles. Les dispositions envisagées à ce stade des études sont illustrées sur la Figure 4.1-6 ;

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

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

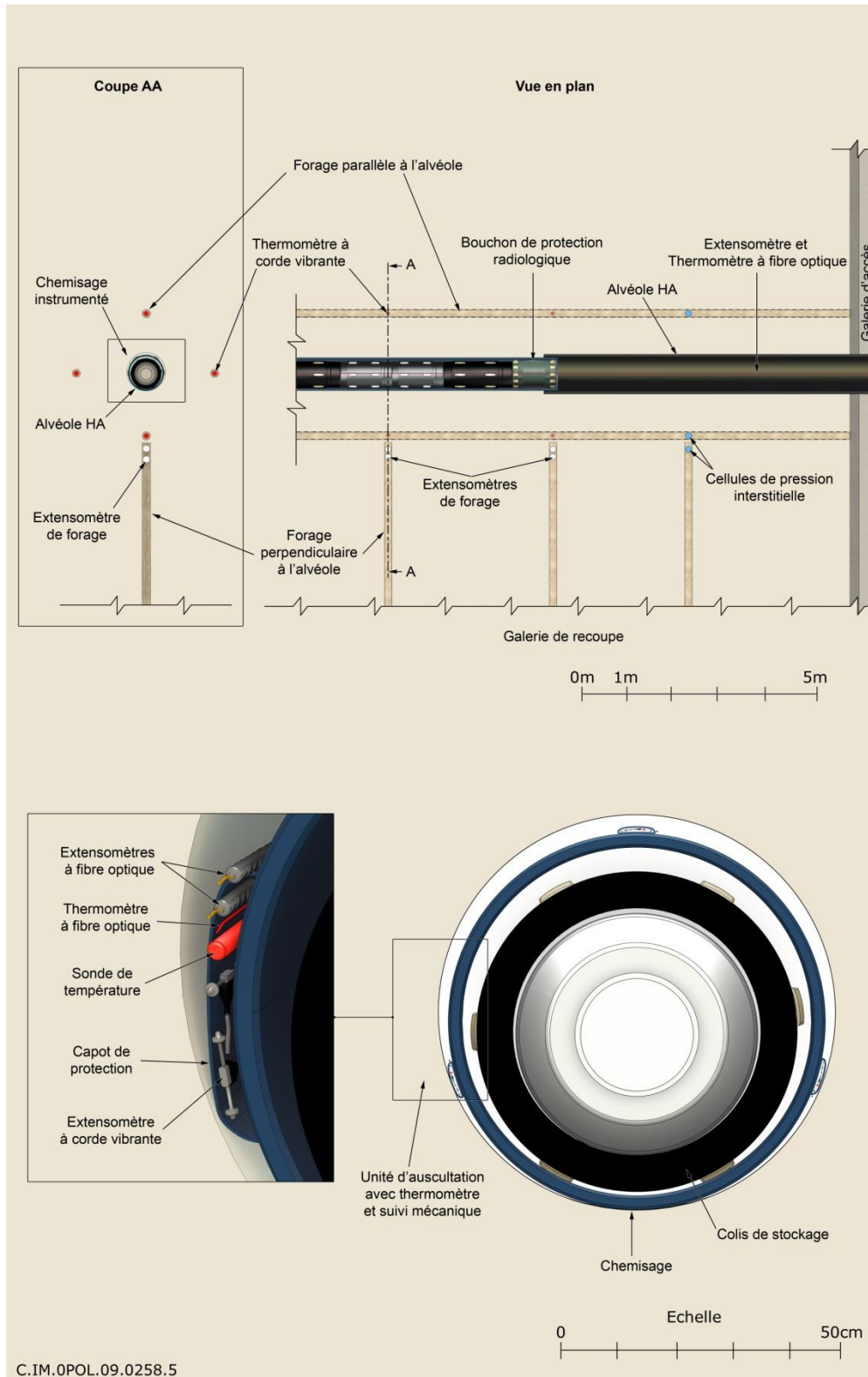


Figure 4.1-6 Instrumentation d'un alvéole HA témoin

4.2 Options de conception MAVL

4.2.1 Le conteneur de stockage

Pour couvrir la grande diversité des colis primaires de déchets MAVL, ces derniers sont placés avant leur stockage dans des conteneurs de stockage qui permettent de standardiser les équipements d'exploitation en souterrain. Le conteneur de stockage assure aussi une protection mécanique des colis primaires. En plaçant plusieurs colis primaires dans un même colis de stockage, les flux de manutention peuvent être diminués. Les évaluations préliminaires de scénarios de stockage conduisent à un flux de l'ordre de quelques colis de stockage par jour (Andra, 2009a).

Le conteneur de stockage a une forme parallélépipédique qui permet un empilement précis des colis dans les alvéoles de stockage. La régularité du jeu compris entre les colis de stockage après leur mise en place minimise le volume de vide résiduel et répartit le flux d'air de la ventilation dans l'ensemble de l'alvéole. Le maintien de ce jeu préserve les possibilités de retrait éventuel des colis stockés.

La conception de référence du conteneur comprend deux éléments préfabriqués en béton armé : un corps et un couvercle (cf. Figure 4.2-1). Le couvercle est emboîté et boulonné sur le corps¹². Les épaisseurs de béton sont dimensionnées pour résister à l'empilement des colis dans des hypothèses pénalisantes de décalage dans la pile de colis. Dans le cas particulier de boues bitumées susceptibles de s'expanser sous l'effet de la radiolyse, une attention particulière devra être apportée à l'impact de ce phénomène sur l'intégrité mécanique du conteneur de stockage et sur les modalités de récupération.

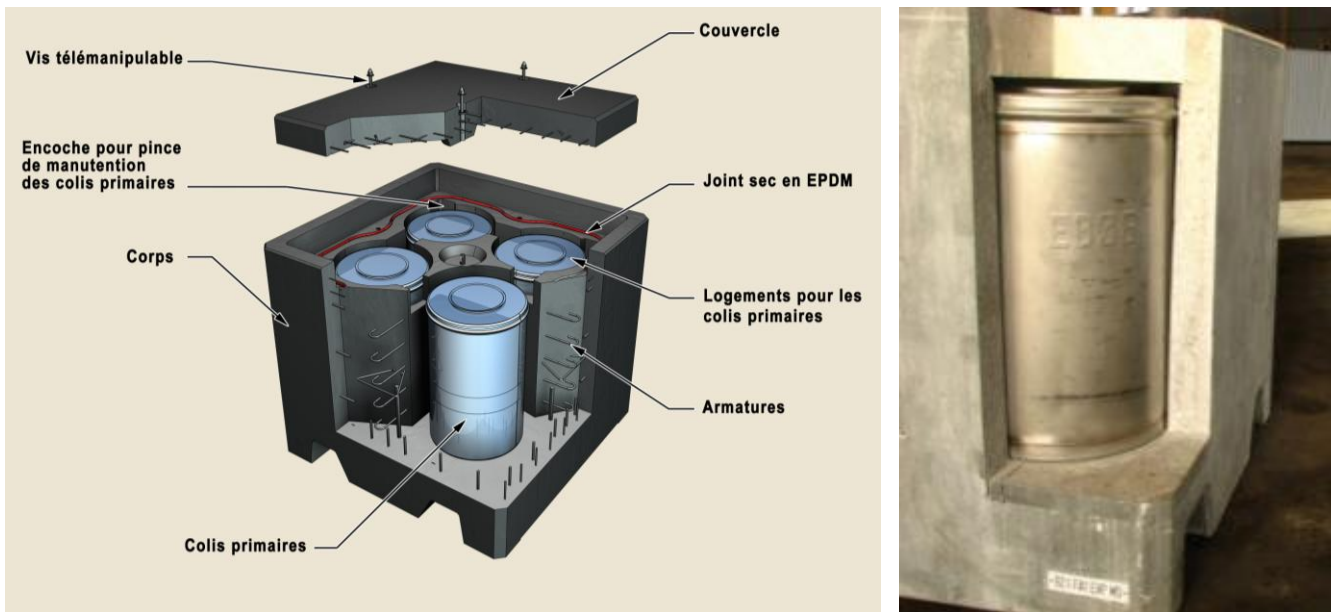


Figure 4.2-1 Illustration d'un colis de stockage MAVL

4.2.2 L'alvéole de stockage

L'alvéole de stockage est un tunnel horizontal avec un revêtement épais en béton. À l'image des grands ouvrages de génie civil routiers et ferroviaires, ce revêtement sera dimensionné suivant les règles européennes de l'ingénierie. Pour limiter les déformations mécaniques de l'ouvrage pendant une période séculaire, ces règles seront appliquées en se plaçant dans la plus haute catégorie de durée d'utilisation qu'elles prévoient (catégorie 5 de l'Eurocode 0) et en retenant des coefficients de sécurité prudents.

¹² Le recours à une injection de liant hydraulique peut aussi être envisagé pour certains colis (Andra, 2009c).

La chambre de stockage, de section rectangulaire, est adaptée à la géométrie parallélépipédique des colis et permet de minimiser les vides résiduels (cf. Figure 4.2-3). Pour prendre en compte l'éventualité de déformations différées dans le temps, une possibilité serait de désolidariser le radier de finition de la structure sous-jacente.

L'utilisation d'un béton de haute performance (BHP) est envisagée pour réaliser le revêtement. Grâce à ses caractéristiques mécaniques élevées, le BHP ouvre la possibilité de diminuer l'épaisseur du revêtement et le volume d'argilite excavé. De surcroît, sa faible porosité favorise sa durabilité.

Cette durabilité est également favorisée par la ventilation de l'alvéole. Celle-ci y impose des conditions sèches. Elle permet aussi de maîtriser la composition de l'air dans l'alvéole. D'une manière générale dans l'industrie nucléaire, la ventilation est un moyen efficace de surveillance. Dans le stockage, elle pourra être mise à profit pour observer à distance l'évolution de l'état des colis et de l'alvéole, par exemple la formation de gaz.

Le système de ventilation doit assurer un balayage d'air aussi homogène et complet que possible de l'ensemble des jeux autour des colis. Il doit pouvoir être maintenu en cas d'évolution anormale de l'alvéole. Parmi les différentes options examinées en 2009 pour ventiler l'alvéole, l'Andra privilégie une conception robuste vis-à-vis d'une exploitation séculaire.

L'entrée d'air s'effectue à une extrémité de l'alvéole par la cellule qui assure aussi l'accueil de colis à stocker ou le cas échéant la restitution de colis retirés. Cette cellule est fermée par deux portes blindées qui protègent en permanence les opérateurs intervenant dans la galerie d'accès. L'air est extrait à l'autre extrémité de l'alvéole par un conduit de ventilation situé dans une galerie accessible au personnel pour assurer la maintenance et les contrôles.

Après le remplissage de l'alvéole, des blocs de béton sont mis en place pour constituer un mur de protection radiologique et permettre la dépose des équipements qui seront réutilisés pour un nouvel alvéole. Ce mur permettrait de rééquiper la cellule de manutention en assurant la protection des travailleurs dans l'hypothèse d'une opération de retrait.

Lors de la mise en place du massif en béton pour obturer l'alvéole (passage au niveau 3 de l'échelle de récupérabilité – cf. chapitre 5), la ventilation est arrêtée. Lors de la réalisation de cet ouvrage, des dispositions constructives (par exemple la réservation de gaines dans le béton en vue de la remise en place d'une ventilation) pourraient faciliter un retour ultérieur dans l'alvéole dans l'hypothèse d'une opération de retrait.

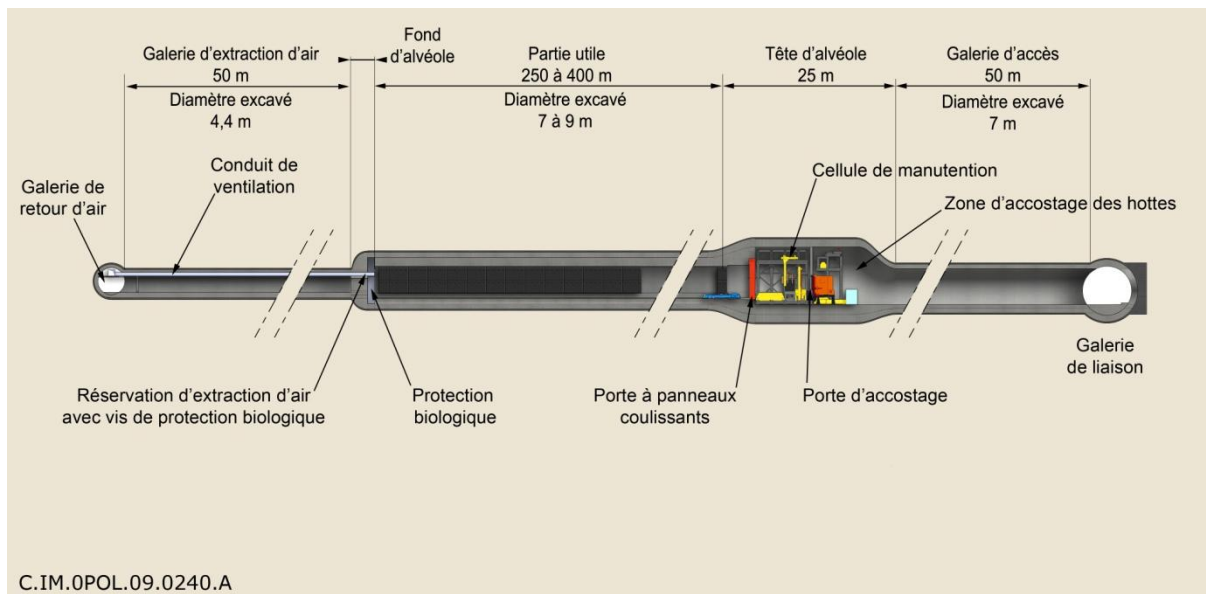


Figure 4.2-2

Alvéole MAVL (vue en coupe longitudinale)

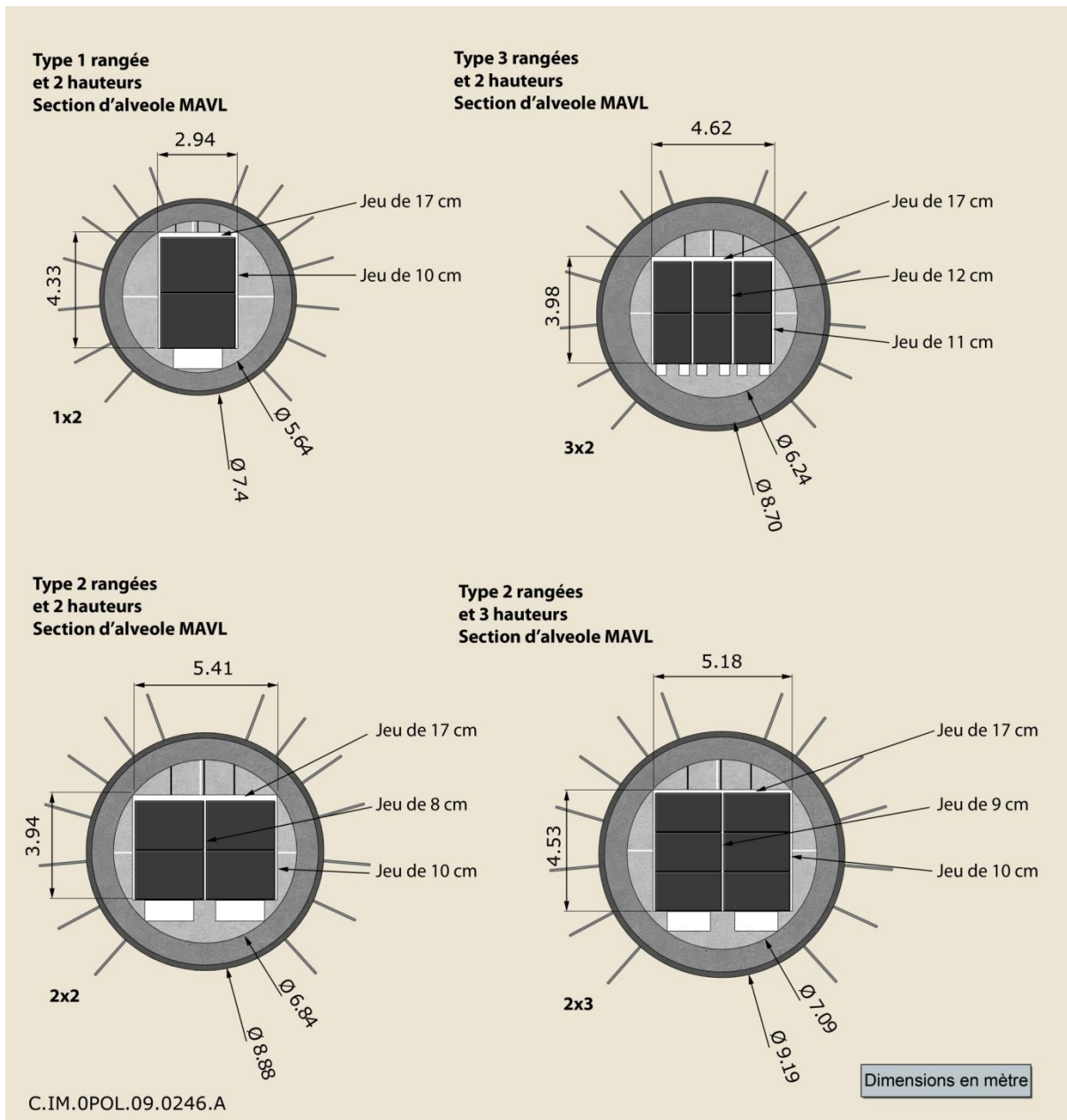


Figure 4.2-3 Illustrations de sections d'alvéoles MAVL adaptées aux différents types de colis

4.2.3 Les procédés de manutention pour la mise en place et le retrait des colis

Deux processus de manutention permettant la mise en place des colis dans des alvéoles de stockage et leur retrait éventuel sont étudiés (Andra, 2009c) :

- la manutention des colis après pré empilage permet de stocker des colis de dimensions et masses importantes (jusqu'à 25 t),
- la manutention individuelle des colis, est adaptée à des colis de stockage de dimensions et de masses plus réduites (jusqu'à 15 t).

Ces deux principes se complètent pour couvrir la diversité de l'inventaire des colis de déchets MAVL.

Le premier processus de mise en place des colis commence par la formation de piles de 2 ou 3 colis en tête d'alvéole, dans la cellule de manutention, puis par la translation horizontale de la pile de colis avec un chariot porteur jusqu'à l'emplacement de stockage (cf. Figure 4.2-4). Le chariot porteur se déplace sur des rails encastrés dans le radier du génie civil de l'alvéole de stockage. Il comprend dans sa partie centrale un plateau élévateur actionné hydrauliquement, qui permet de soulever une pile de colis d'environ 50 mm puis de la reposer en appui sur des longrines, en configuration de stockage. Les besoins en énergie électrique sont fournis par des batteries embarquées rechargeables. Le moyen de communication permettant son pilotage et la supervision des opérations à partir d'une salle de conduite déportée sont assurés par un système sans fil.

Le second processus repose sur une mise en place individuelle des colis. Deux solutions sont étudiées (cf. Figure 4.2-5). Elles se distinguent par le mode de remplissage de l'alvéole :

- Dans la première solution, le colis est manutentionné dans l'alvéole au moyen d'un chariot élévateur à fourches (« stockeur »). Le stockeur assure un mouvement de translation pour son déplacement dans l'alvéole ainsi qu'un mouvement de levage pour constituer la pile de colis. Il présente une structure composée de deux sommiers parallèles et un mât qui intègre l'outil de préhension par fourches et son guidage. Les sommiers sont équipés de galets circulant sur des rails encastrés dans le radier du génie civil. La motorisation du chariot est implantée en partie arrière des sommiers, comme les batteries et l'ensemble du contrôle commande. La fonction levage est assurée par un système constitué de deux treuils à câbles indépendants et redondants. Cette technologie est similaire à celle utilisée sur les ponts roulants nucléarisés équipant des cellules irradiantes du site Areva de La Hague.
- Dans la seconde solution, la mise en place des colis est réalisée par un « pont gerbeur » par couches successives. Le pont est composé de deux sommiers qui sont reliés par une poutre sur laquelle coulisse le fût équipé de fourches de préhension. La hauteur des fourches est mise en configuration pour l'exploitation d'une couche donnée. Cette opération est faite dans la cellule de manutention au début de l'exploitation de chaque couche. La portée du pont gerbeur est adaptée à la largeur de l'alvéole. Les deux sommiers se déplacent avec un guidage par galets sur deux rails, à hauteur de la dernière couche de colis, dans des corniches implantées en partie supérieure des parois verticales de l'alvéole. Le pont gerbeur récupère le colis après son extraction de la hotte une fois qu'un équipement élévateur l'a préalablement positionné à la hauteur de la couche en cours d'exploitation. L'alimentation électrique du pont-gerbeur est assurée par des batteries.

Les moyens de manutention de colis de déchets MAVL sont conçus pour donner la possibilité d'inverser la séquence de mise en place et permettre le retrait des colis de stockage. Un premier démonstrateur technologique MAVL est en cours de développement pour la mise en place après préempilage. Il permettra d'évaluer les limites éventuelles des moyens étudiés vis-à-vis d'une récupération, en simulant des situations dégradées : capacité de récupération de colis à partir d'une pile comportant des défauts d'empilement, déformations différées de l'alvéole (affectant en particulier le chemin de roulement du chariot de manutention). Un démonstrateur d'engin de manutention individuelle est également programmé d'ici 2015.

La probabilité de contamination d'un colis de stockage MAVL est extrêmement faible compte tenu des différents contrôles réalisés sur le colis avant sa mise en stockage¹³. Dans le cas hypothétique d'une contamination labile sur le colis lors d'une opération de retrait des colis, les aspects à traiter concernent d'abord le contrôle de non-contamination, qui pourrait s'effectuer dans la cellule de manutention, les modalités de mise en place d'un zonage pour éviter la dissémination, puis la gestion d'un colis contaminé dans l'installation.

¹³ Le colis primaire fait l'objet d'un premier contrôle de conformité chez le producteur avant son expédition vers les installations de surface du centre de stockage. Un deuxième contrôle est réalisé lors de sa réception dans les installations de surface du centre de stockage. Le colis de stockage fait également l'objet d'un contrôle de non-contamination avant son transfert vers l'alvéole de stockage souterraine. Les conditions d'environnement du stockage susceptibles d'influer sur l'évolution des colis sont suivies.

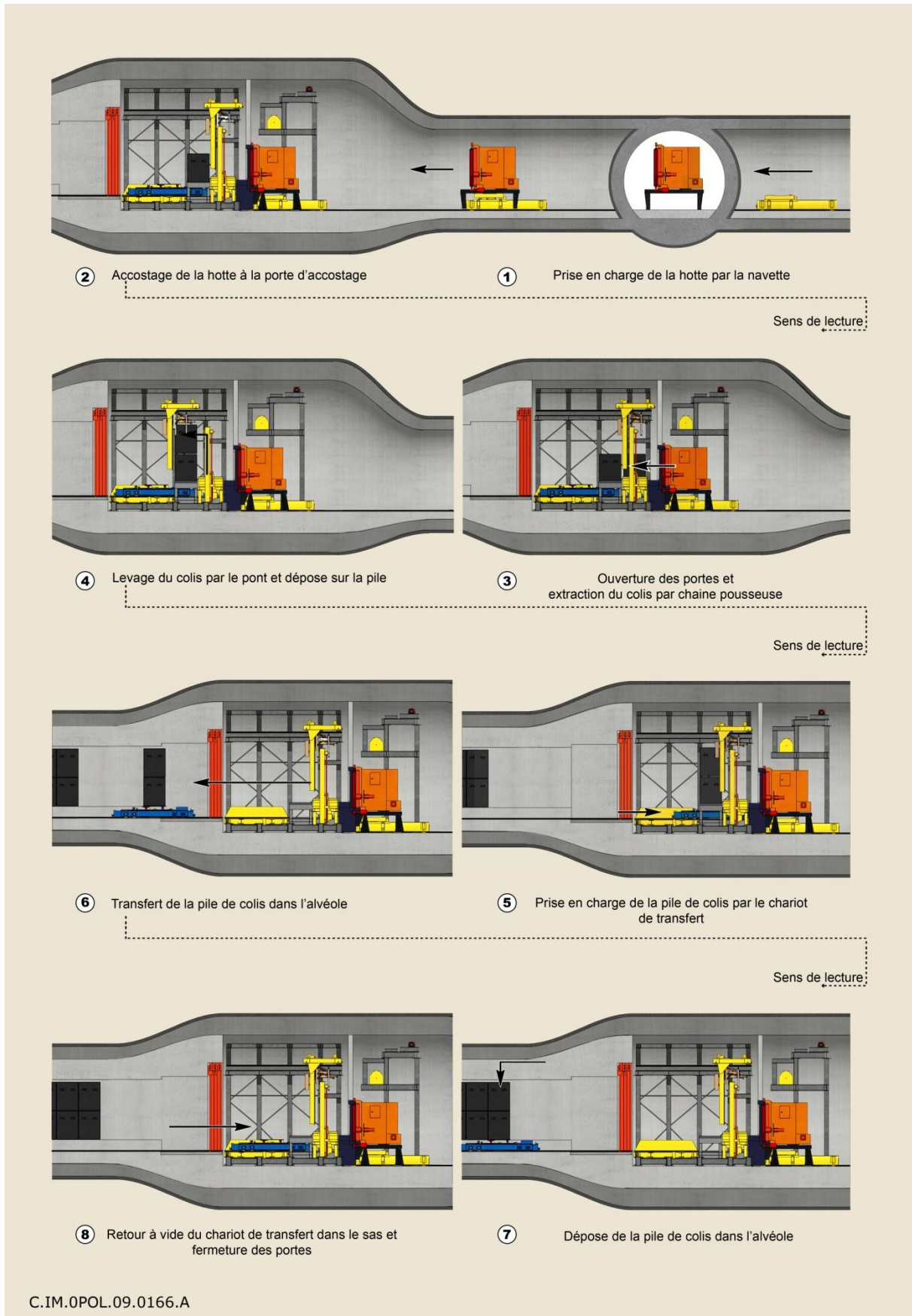
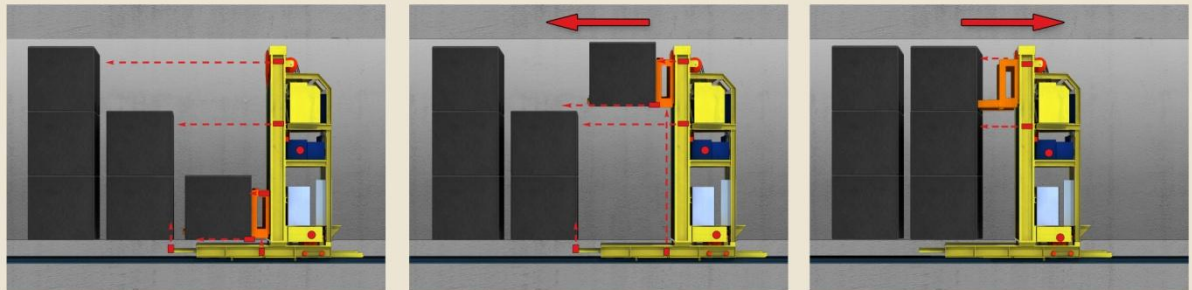
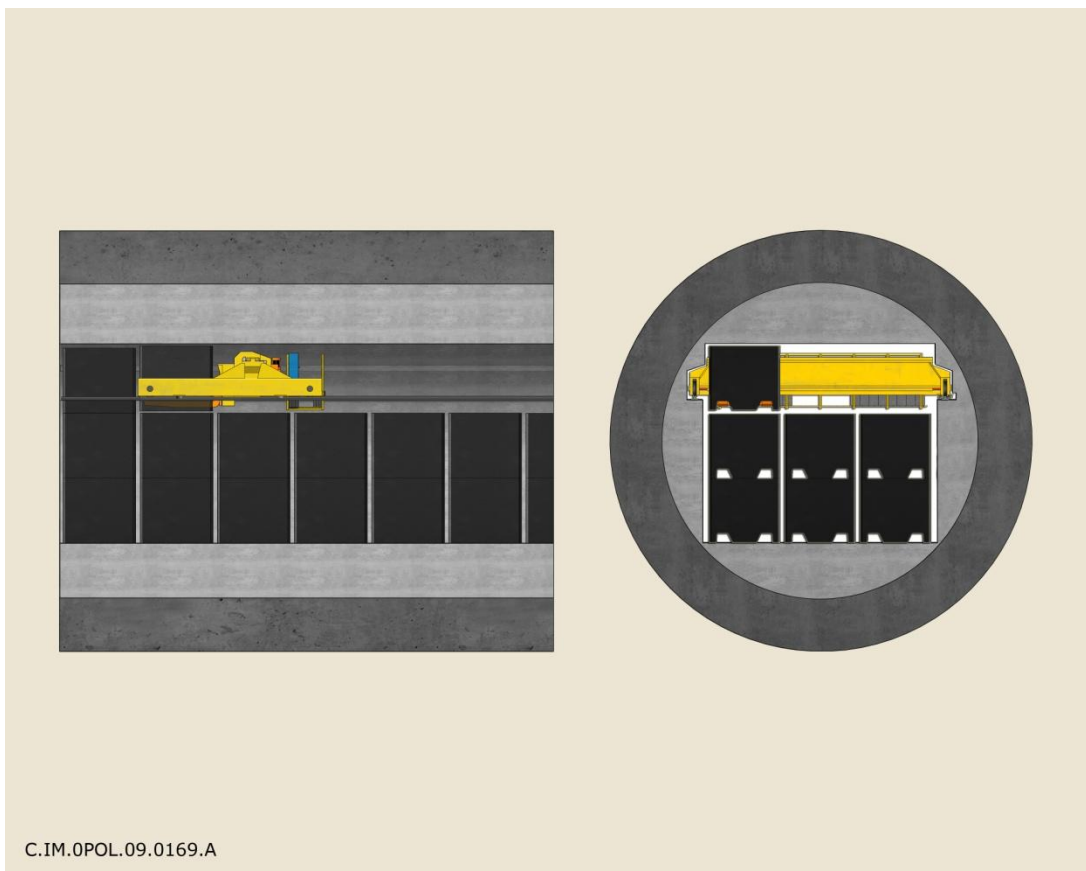


Figure 4.2-4

Synoptique du processus de maintenance des colis par préempilage (l'opération de mise en place d'une pile de colis est représentée)



C.IM.0POL.09.0295.A



C.IM.0POL.09.0169.A

Figure 4.2-5 Principe de manutention individuelle des colis MAVL par chariot élévateur (en haut) ou pont gerbeur (en bas)

4.2.4 L'analyse phénoménologique

Pendant toute la durée où l'alvéole est ventilé, les processus de dégradation chimique des ouvrages sont extrêmement lents. En effet, la très faible saturation en eau des composants (20 % environ après quelques années de ventilation) limite ou empêche de facto les cinétiques réactionnelles des processus majeurs de la dégradation chimique : la carbonatation atmosphérique des bétons se limite à un effet de peau, tout comme l'hydrolyse des bétons sur la face en contact avec les argilites, et les cinétiques de corrosion des matériaux métalliques sont très faibles.

Le maintien de la ventilation induit aussi progressivement une extension de la zone désaturée de l'argilite autour des ouvrages¹⁴. La progression de la zone désaturée est d'autant plus lente que la perméabilité de l'argilite affectée est faible. En pratique, même après une durée d'ordre séculaire, elle n'excéderait pas l'extension de l'EDZ¹⁵ due au creusement, caractérisée par une perméabilité plus élevée que celle de l'argilite non perturbée. La désaturation ralentit les déformations différées de l'argilite. Elle s'accompagne d'un processus d'oxydation des minéraux résultant de la pénétration d'oxygène dans la roche. Ce processus reste limité en extension autour des ouvrages. Les effets de la ventilation sur l'argilite sont étudiés au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, ainsi que le comportement du béton sur la durée.

La stabilité chimique des matériaux ainsi que la désaturation de l'argilite au voisinage immédiat des ouvrages permettent de prévoir une stabilité d'ensemble de l'alvéole sur une durée plus longue que la durée d'utilisation considérée dans le dimensionnement (cf. § 4.2.2).

L'absence de dégradation chimique des conteneurs primaires et de stockage maintient durablement le confinement des substances radioactives contenues dans les déchets.

Pour les déchets MAVL faiblement exothermiques, l'élévation de température dans l'alvéole reste modérée. L'air de ventilation est directement au contact des colis de stockage et impose un environnement thermo-hydrrique globalement pseudo-stationnaire dans le temps. Les élévations de température s'estompent progressivement avec la décroissance thermique des colis : à 40 ans, la température des colis de stockage est de l'ordre de 28 °C à 30 °C. A 100 ans, l'échauffement n'est plus que de 5 °C au sein de l'alvéole.

Pour les déchets MAVL contenant des matières organiques, les conditions hygrométriques sèches garantissant un état non saturé du béton de colisage contribuent à la migration de l'hydrogène produit par radiolyse des matières organiques en dehors du colis de stockage. L'hydrogène est ensuite évacué par la ventilation de l'alvéole. En cas d'arrêt de ventilation, les temps caractéristiques d'augmentation des concentrations sont supérieurs au délai d'intervention pour le rétablissement de la ventilation.

Après l'arrêt de la ventilation lors de la fermeture d'un alvéole, le processus de resaturation des ouvrages est lent. Il est piloté par la faible perméabilité des argilites. Les temps caractéristiques de resaturation des ouvrages et de retour à une humidité relative de 100 % s'accompagnant de la présence d'eau sous forme liquide sont d'au moins la durée de la phase de ventilation.

4.2.5 Dispositions envisagées pour l'observation-surveillance des alvéoles MAVL

Des capteurs peuvent être mis en place dans le revêtement de l'alvéole MAVL et dans la roche lors de la construction de l'alvéole (cf. Figure 4.2-6). Ils permettent de suivre l'évolution thermique, les déformations et l'hygrométrie dans différentes sections de l'alvéole. Ces mesures pourraient être complétées par des mesures réparties, par exemple au moyen de fibres optiques placées longitudinalement le long de l'ouvrage. Des méthodes d'auscultation non destructives, mises en œuvre par exemple sur des engins robotisés, et une unité d'auscultation de l'air de ventilation pourraient compléter le dispositif d'observation-surveillance.

¹⁴ Le processus de désaturation intervient essentiellement lors du creusement (à cause des déformations de l'argilite) puis dans les premières années d'exploitation. Au-delà la cinétique de désaturation est ralentie par la faible perméabilité de l'argilite.

¹⁵ EDZ (Excavated Damaged Zone) : zone endommagée au voisinage de l'excavation

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

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

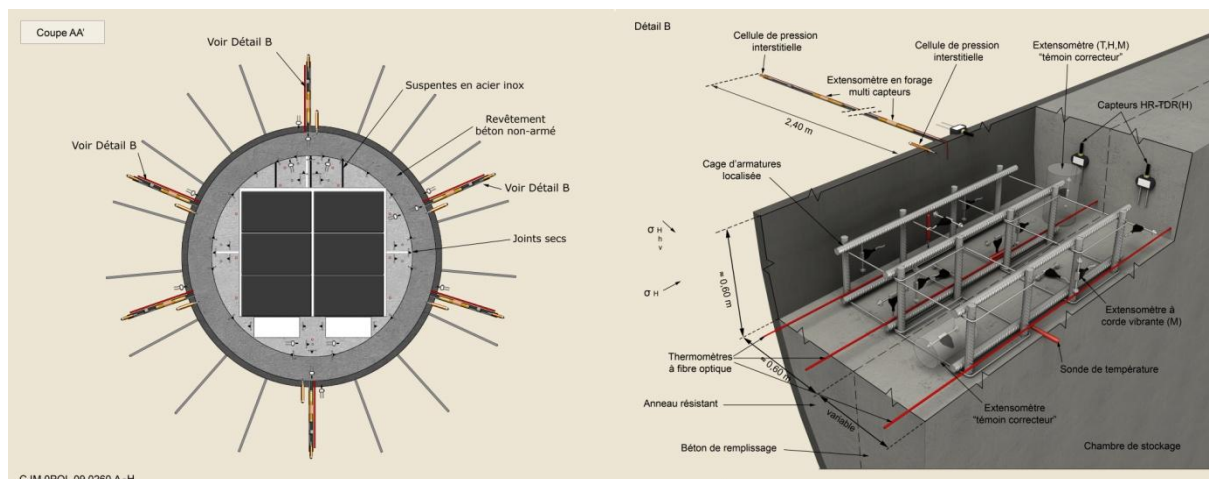


Figure 4.2-6 Instrumentation d'un alvéole MAVL

4.3 Entreposage en soutien à la réversibilité

Les moyens d'entreposage se situent naturellement en amont du processus de mise en stockage des colis, mais la réversibilité amène aussi à considérer l'entreposage de colis qui seraient récupérés.

En amont du stockage, il y aura nécessairement sur le site de stockage un entreposage de transit pour assurer le tampon entre les flux de colis (colis primaires et/ou colis de stockage) reçus sur le site et les flux de colis à mettre en stockage. La capacité en sera limitée ainsi que la durée du maintien des colis. Il y aura de plus, sur les sites de production ou de conditionnement des déchets, des capacités d'entreposage beaucoup plus importantes : certaines existent actuellement et pourront être exploitées jusque dans les années 2050, voire au-delà ; d'autres seront créées pour prendre en charge les productions de colis à venir ou des colis qui seront retirés d'entrepôts anciens en cessation d'exploitation. Cependant, au lieu de certaines extensions futures sur les sites de production et de conditionnement, une réalisation de capacités d'entreposage sur le centre de stockage pourra constituer une opportunité qui mérite d'être examinée (Andra, 2009a).

L'Andra propose d'évaluer les conditions dans lesquelles il serait possible d'accueillir dans un entrepôt, à tout moment, des colis déjà mis en stockage et qui en seraient retirés dans le cadre de la réversibilité. Cette fonctionnalité s'appuierait sur des capacités d'entreposage des sites de conditionnement, et le cas échéant du centre de stockage.

Les besoins correspondants en capacités resteraient néanmoins limités. En effet, dans un scénario où l'on déciderait de retirer un grand nombre de colis, il serait toujours possible de construire de nouveaux modules d'entreposage au fur et à mesure de ce retrait. Cela serait facilité par une approche modulaire des installations d'entreposage.

Dans le cas des colis MAVL, qui représentent le plus grand volume de déchets, les études considèrent en général des colis de stockage avec couvercle boulonné ; si nécessaire, on peut en extraire aisément les colis primaires pour les expédier vers d'autres installations. Les colis de stockage qui échappent à cette option seraient fabriqués par le producteur de déchets, et devraient être transportables entre le site de fabrication du colis de stockage et le centre de stockage. Ceci procure de la flexibilité pour l'entreposage de colis retirés du stockage, qui pourrait être situé sur le site de stockage ou sur

les sites de production ou de conditionnement, et pourrait accueillir les déchets sous forme de colis primaires ou de colis de stockage.

Dans le cas des déchets HA, des études de faisabilité ont montré qu'il serait possible de concevoir des entrepôts capables de gérer dans un premier temps des colis primaires, puis d'être reconfigurés pour accueillir des colis de stockage.

Pour donner plus de flexibilité à la gestion des colis de déchets et soutenir la réversibilité du stockage, l'Andra propose d'approfondir l'étude de concepts d'entreposage polyvalents : pour les déchets MAVL, ils pourraient recevoir différents types de colis primaires en attente de stockage, ou des colis retirés du stockage. Pour les déchets HA, ils seraient compatibles avec des colis primaires en attente de stockage et des colis de stockage récupérés. L'Andra propose aussi d'envisager une plus grande durabilité des entrepôts, jusqu'à une durée séculaire. Cela passe par des aménagements techniques, dont certains sont déjà mis en œuvre dans l'extension de l'entreposage des déchets HA vitrifiés à La Hague en cours de construction. Un ensemble de recherches sur les matériaux et sur l'évolution des entrepôts sur une durée séculaire est aussi proposé (Andra, 2009a).

4.4 Observation-surveillance du stockage

L'observation-surveillance des ouvrages du stockage contribue à la sécurité, à la sûreté et à la gestion réversible du stockage. Elle intervient notamment en appui au pilotage du processus de stockage et au processus décisionnel associé (cf. chapitre 5). Elle a été intégrée dès les phases amont de la conception du stockage (Andra, 2005).

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

La conception du système d'observation-surveillance prend en compte le retour d'expérience de la surveillance d'ouvrages du génie civil (tunnels, enceintes de confinement des réacteurs nucléaires, barrages...). Le système d'observation-surveillance du stockage se caractérise par deux spécificités : la longévité requise (d'ordre séculaire), qui est longue devant la durabilité des systèmes d'auscultation, et l'inaccessibilité des alvéoles aux opérateurs.

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

Afin de proposer des solutions adaptées à ces spécificités, la stratégie suivante est adoptée :

- Compte tenu de la reproductibilité des ouvrages types (alvéoles MAVL, alvéoles HA, scellements...) et de l'homogénéité des propriétés de la roche, il est possible de répartir l'instrumentation au sein du stockage et de suivre plus particulièrement certains ouvrages représentatifs.
- Différentes méthodes d'auscultation peuvent être envisagées (instrumentation in situ, mesures et essais non destructifs, utilisation d'engins robotisés...) et plusieurs types de capteurs existent souvent pour suivre un même phénomène. Ces différents outils peuvent être combinés dans une logique de redondance et de complémentarité.

- La mise à disposition de moyens d'auscultation qualifiés pour le stockage repose sur une démarche progressive : sélection de technologies existantes étayée par le retour d'expérience acquis sur des ouvrages de génie civil, tests en ambiance contrôlée puis *in situ*, durcissement pour répondre aux conditions d'utilisation dans le stockage. Pour les technologies plus novatrices, la qualification s'effectuera par redondance avec des moyens éprouvés.

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

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

5

Le processus décisionnel en support à la réversibilité

<i>5.1</i>	<i>Le pilotage du processus de stockage</i>	<i>62</i>
<i>5.2</i>	<i>Le développement progressif du stockage et sa fermeture par étapes</i>	<i>63</i>
<i>5.3</i>	<i>Une échelle pour échanger sur le processus décisionnel</i>	<i>65</i>
<i>5.4</i>	<i>Premières propositions concernant le processus décisionnel et la durée de réversibilité</i>	<i>69</i>

5.1 Le pilotage du processus de stockage

L'Andra a défini 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. Cette définition se décline en trois volets complémentaires : (i) la capacité à reprendre les colis (ou « récupérabilité »), (ii) la capacité à intervenir sur le processus de stockage, (iii) la capacité à faire évoluer la conception du stockage.

Les options de conception retenues pour faciliter la récupération des colis stockés ont été présentées au chapitre 4.

Si elle est étroitement liée à la récupérabilité des colis, la capacité à intervenir sur le processus de stockage a une portée plus large. Après les décisions de créer puis de mettre le centre en exploitation, elle consiste à ouvrir la possibilité de plusieurs choix de gestion au cours du processus de stockage : poursuivre le stockage selon le schéma prédéfini, se donner les moyens d'une réévaluation, faire évoluer le stockage ou encore inverser le processus jusqu'à la possibilité de récupérer des colis stockés.

En pratique, cela conduit à ordonnancer le stockage sur la base d'étapes intermédiaires. Les choix de gestion seraient alors examinés à chaque étape, selon des modalités décisionnelles spécifiées ; en particulier, l'impact de chaque choix possible de gestion sur la sûreté de l'installation serait évalué. Les étapes intermédiaires du processus de stockage constitueront ainsi des points de rendez-vous entre le gestionnaire du stockage et les parties prenantes. Les niveaux de responsabilité impliqués dans les décisions seraient proportionnés aux enjeux techniques, économiques et sociaux de chaque étape.

Un stockage donnant une capacité d'action concrète doit être conçu de façon à offrir une flexibilité dans le temps pour le franchissement de chaque étape et à faciliter des ré-orientations techniques.

La capacité d'action commence à la décision d'exploiter de nouveaux modules de stockage pour une famille de déchets. La réalisation progressive du stockage et l'accueil de nouvelles familles de colis au cours du temps donnent des étapes intermédiaires pour cette capacité d'action. La disponibilité d'installations d'entreposage offre de la flexibilité à la prise de décision.

La capacité d'action sur le processus de stockage se traduit aussi par la possibilité donnée aux générations suivantes de mettre en œuvre des étapes intermédiaires de fermeture, tout en vérifiant qu'il resterait possible de récupérer des colis stockés après ces étapes (sachant que les opérations de retrait deviendraient progressivement plus longues et potentiellement plus complexes). La décision de franchir ces étapes pourra être motivée par une simplification des opérations industrielles, une diminution de l'impact environnemental de l'exploitation du centre ou une progression vers une plus grande passivité de la gestion des déchets.

Conséquence de la capacité d'action sur le processus, le troisième volet de la réversibilité est la possibilité de faire évoluer la conception du stockage au fur et à mesure de sa mise en œuvre. Cette possibilité permettra de mettre à profit le retour d'expérience et les progrès techniques. Elle se traduit techniquement par une adaptabilité aussi grande que possible de l'architecture du centre de stockage.

L'observation et la surveillance du stockage concourent au processus décisionnel relié à la réversibilité, en apportant des éléments concrets sur le fonctionnement de l'installation et sur sa conformité aux prévisions, ainsi que sur l'évolution des conditions de réversibilité. En particulier, l'observation de l'évolution des ouvrages permettra de réévaluer la durée de réversibilité au cours du temps, compte tenu des marges adoptées dans les dimensionnements. Il est ainsi envisageable qu'un réexamen des modalités de réversibilité soit effectué périodiquement, à l'image du référentiel de sûreté.

5.2 Le développement progressif du stockage et sa fermeture par étapes

Le développement progressif des installations souterraines du stockage

La durée d'exploitation du stockage profond pourra s'étendre sur une période d'ordre séculaire. Cette particularité conduit à adopter une stratégie de développement progressif du stockage.

Comme présenté au chapitre 3, l'architecture du stockage est fractionnée pour séparer physiquement les différentes catégories de colis MAVL et HA¹⁶. Chaque zone comprend plusieurs modules de stockage (un module de stockage MAVL correspond à un alvéole de stockage et un module de stockage HA correspond à quelques centaines d'alvéoles HA).

La conception de l'architecture souterraine du stockage prévoit la possibilité de construire de nouveaux modules de stockage en parallèle de l'exploitation des modules existants. Cela induit la concomitance d'activités de travaux souterrains (construction des ouvrages) et d'exploitation nucléaire (transfert des colis).

Les installations permettent de séparer ces deux types d'activité dans l'espace ou dans le temps. Les flux liés aux activités de construction ou de fermeture transitent par les puits et par des galeries dédiées aux travaux. Le transport des hottes blindées contenant les colis s'organise autour d'une descenderie spécifique puis de galeries dédiées jusqu'aux modules de stockage. Cette séparation est également réalisée pour les circuits de ventilation : les galeries de transfert des colis disposent d'une alimentation en air frais indépendante de celle des galeries de travaux, ce qui contribue à éviter une introduction de poussière ou de fumées engendrées par les activités de travaux dans les ouvrages où sont menées les activités d'exploitation nucléaire.

La construction de nouveaux modules de stockage, ainsi que des nouvelles capacités d'entreposage éventuellement nécessaires en complémentarité au stockage, sera programmée en lien avec les chroniques de mise en stockage (cf. § 0).

La flexibilité offerte par l'architecture modulaire du stockage facilite l'adaptation à des évolutions du stockage pendant la période séculaire d'exploitation. En particulier, le retour d'expérience progressivement acquis lors de la construction et de l'exploitation et les progrès techniques éventuels pourront être pris en compte pour concevoir les nouveaux modules de stockage.

Le développement progressif du stockage est illustré sur la Figure 5.2-1, dans l'hypothèse d'un stockage au plus tôt des déchets HA fortement exothermiques et avec les données du scénario de base du modèle d'inventaire de dimensionnement 2009.

¹⁶ Cette séparation en différentes zones de stockage évite la prise en compte d'interactions potentielles entre ces différentes catégories de déchets pour l'étude de l'évolution à long terme du stockage.

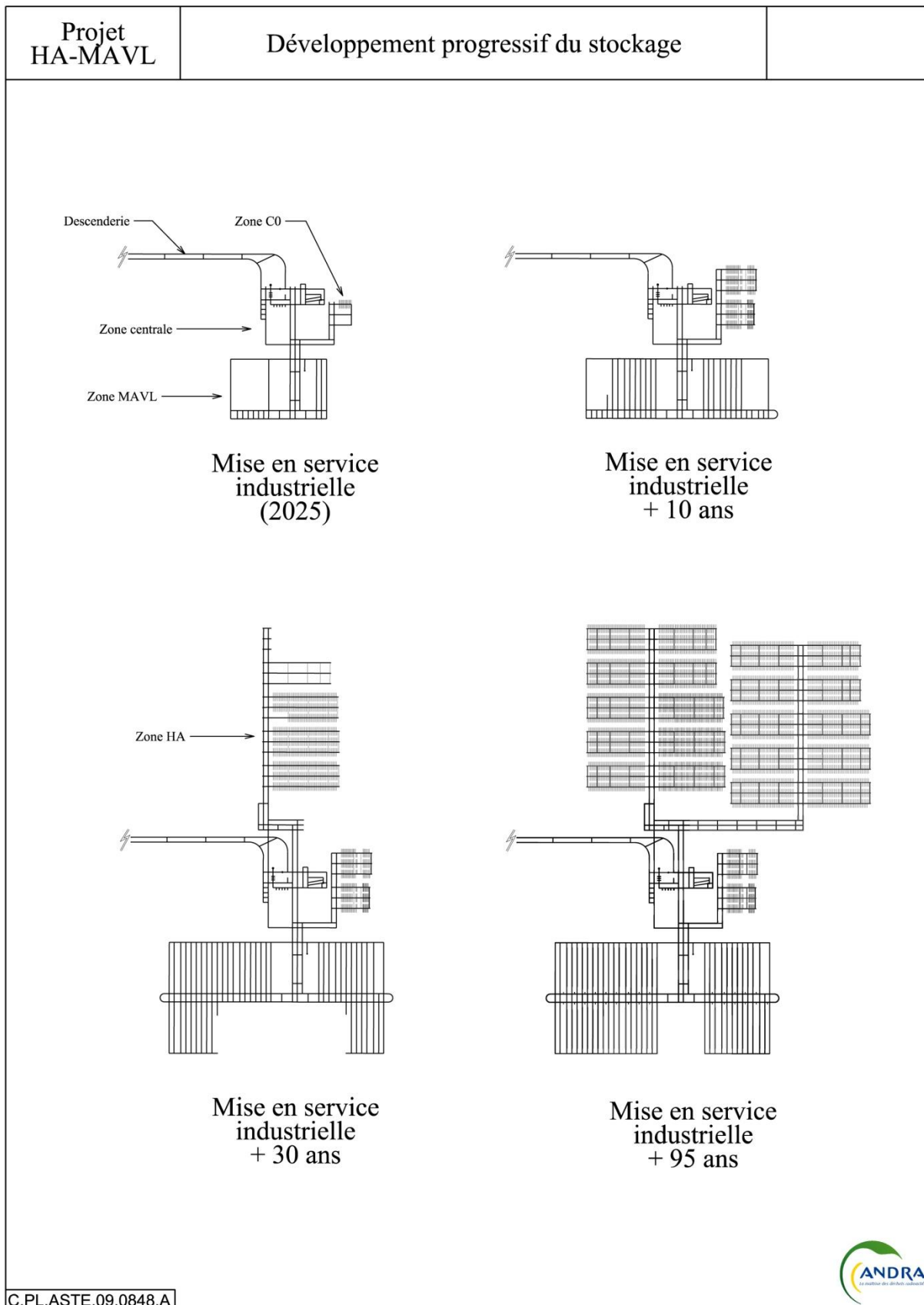


Figure 5.2-1 Illustration du développement progressif du stockage

La fermeture par étapes

Les recherches sur le stockage en formation géologique profonde s'inscrivent dans l'objectif de « *prévenir ou limiter les charges qui seront supportées par les générations futures* » (loi n°2006-739 du 28 juin 2006, article 2). Aussi, le stockage est conçu pour pouvoir être fermé. Après cette fermeture, il pourra assurer la protection de l'homme et de l'environnement de manière complètement passive, sans nécessiter de maintenance ou d'intervention humaine. Cet objectif se traduit par des fonctions de sûreté passives conférées au stockage, qui constituent la différence fondamentale de fonctionnement entre un entreposage et un stockage. Dans le dossier de demande d'autorisation de création du centre de stockage, la sûreté du centre devra ainsi être appréciée au regard des différentes étapes de gestion, y compris sa fermeture définitive.

L'Andra étudie la possibilité que cette fermeture puisse être mise en œuvre de manière progressive. Plusieurs étapes peuvent être définies dans le processus de fermeture progressive du stockage vers une installation sûre à long terme et entièrement passive :

- Après la mise en place des colis dans un module de stockage, les équipements d'exploitation nécessaires à cette opération (operculaires HA, cellule de manutention MAVL) peuvent être réutilisés pour exploiter d'autres modules. Ils sont alors remplacés par des équipements en tête d'alvéole qui assurent la radioprotection des opérateurs présents dans les galeries et qui permettent l'observation et la surveillance du module. Comme indiqué au chapitre 4, ces conditions d'exploitation peuvent être maintenues durablement.
- Une étape intermédiaire avant la fermeture d'un module de stockage HA consiste à obturer les alvéoles au moyen d'un bouchon d'argile gonflante ; les galeries du module restent accessibles. Pour le module de stockage MAVL, cette étape pourrait consister à arrêter la ventilation et à mettre en place le massif de béton qui servira d'appui au scellement.
- La fermeture du module de stockage HA consiste ensuite à remblayer les galeries d'accès du module puis à fermer le module au moyen d'un scellement. La fermeture du module de stockage MAVL consiste à mettre en place le scellement et à remblayer la galerie d'accès. L'opération de remblayage des galeries est réalisée avec l'argile excavée entreposée sur la verse en surface. Elle vise à minimiser les vides résiduels du stockage après fermeture pour limiter l'endommagement à long terme des argilites.
- Après fermeture de l'ensemble des modules et galeries du stockage, l'étape suivante est la fermeture des ouvrages de liaison surface/fond et le début de la phase de contrôle institutionnel. Le maintien d'une surveillance du site est envisageable pour les paramètres accessibles à la mesure depuis la surface. La mémoire du stockage est maintenue. La loi du 28 juin 2006 prévoit que seule une loi pourra autoriser la fermeture définitive du centre de stockage.

5.3 Une échelle pour échanger sur le processus décisionnel

Pour faciliter les échanges avec les parties prenantes en France et à l'international, l'Andra a proposé de définir une échelle associée à la réversibilité.

Dans le cadre du projet « *Retrievability and Reversibility* » mis en place par l'AEN (OCDE), un groupe de travail, qui réunit une dizaine de pays, a été constitué sur ce sujet. Les différents niveaux de l'échelle portent sur la récupérabilité des colis ou des déchets. Ceci permet de disposer d'un outil descriptif commun aux différents organismes impliqués à l'international dans le stockage géologique de déchets radioactifs, quelle que soit leur approche vis-à-vis de la réversibilité. La Figure 5.3-1 décrit le projet d'échelle dans sa version actuelle. Les différents niveaux sont ensuite commentés dans le contexte français.

	Niveaux dans l'échelle de récupérabilité	Eléments de sûreté passive ajoutés progressivement	Activités humaines nécessaires pour gérer les déchets
0	Déchets non conditionnés		Gestion active des déchets
1	Colis entreposés	Conditionnement	Gestion active des entrepôts
2	Colis stockés, et facilement récupérables	Alvéole de stockage en profondeur	Gestion active des alvéoles
3	Colis récupérables après reconfiguration des alvéoles	Obturation de l'alvéole	Maintenance des ouvrages d'accès
4	Colis récupérables après travaux d'excavation souterraine	Remblai et scellement des galeries	Surveillance possible à distance Archivage de la configuration
5	Colis récupérables après réouverture du stockage	Remblai et scellement des accès jour-fond	Contrôle institutionnel
6	Déchets récupérables après travaux de type minier	Décroissance des RN à courte période	Mémoire

Figure 5.3-1 Niveaux du projet d'échelle de récupérabilité

Les différents niveaux de l'échelle correspondraient aux étapes de gestion suivantes :

- Hors échelle, ce qui correspond à un niveau 0, les déchets sont produits mais non conditionnés. Le conditionnement consiste à solidifier ou immobiliser les déchets et à les placer dans un conteneur qui en facilite la manutention et l'entreposage dans les installations industrielles. La loi du 28 juin 2006 charge désormais l'Andra, en tant que futur exploitant du centre de stockage, de donner un avis sur les spécifications pour le conditionnement des déchets étudiées par les propriétaires des déchets, ce conditionnement devant être pris en compte dans la conception du centre de stockage.
- La majorité des déchets radioactifs produits ont déjà fait l'objet d'opérations de conditionnement¹⁷. Les déchets conditionnés sont ensuite entreposés (niveau 1 de l'échelle). Aujourd'hui, la gestion des déchets HA et MAVL, dont la production a démarré dans les années 1960, repose sur leur entreposage. Un renouvellement des capacités d'entreposage les plus anciennes est en cours : ainsi les colis entreposés dans des entrepôts anciens de plusieurs centres du CEA, qui atteignent leur limite temporelle d'exploitation, en sont progressivement retirés pour être placés dans des installations d'entreposage récentes ou en projet (Andra, 2009a).
- Conformément à l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement : « *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* ». Les colis sont placés dans des alvéoles de stockage dédiés (niveau 2 de l'échelle). Par rapport à une installation d'entreposage, le stockage en formation géologique profonde apporte une composante supplémentaire de sûreté passive grâce à la présence du milieu géologique. Les colis restent facilement récupérables. La décision de mise en exploitation

¹⁷ Les procédés de solidification par calcination et de vitrification pour les solutions de haute activité contenant les produits de fission issus du traitement des combustibles usés ont été développés dans les années 1970 puis mis en œuvre industriellement sur les sites de Marcoule (atelier de vitrification AVM démarré en 1978) et de La Hague (ateliers R7 et T7 démarrés respectivement en 1989 et 1992). Ce conditionnement offre des performances de sûreté élevées dès l'entreposage. La loi du 28 juin 2006 prévoit que les propriétaires de déchets de moyenne activité à vie longue produits avant 2015 les conditionnent au plus tard en 2030.

de nouveaux modules du stockage (cf. § 5.2) correspond à la décision de passer, pour les déchets concernés, du niveau 1 au niveau 2 de l'échelle.

- Après une phase d'observation et de surveillance, il pourra être décidé de franchir une nouvelle étape dans le processus de stockage. Pour un alvéole HA, le niveau 3 de l'échelle correspond à l'obturation de l'alvéole avec un bouchon d'argile. Pour un alvéole MAVL, l'obturation de l'alvéole correspond à l'arrêt de la ventilation et à la mise en place d'un massif en béton. Les galeries d'accès du module restent accessibles. Le retour au colis nécessite une reconfiguration de la tête d'alvéole. Des dispositions sont étudiées pour permettre la surveillance déportée.
- Au niveau 4 de l'échelle, les galeries d'accès du module sont remblayées et un scellement hydraulique en argile gonflante est mis en place. Des travaux d'excavation deviennent nécessaires pour revenir aux alvéoles. Ce niveau peut s'appliquer à différentes parties du stockage (module, sous-zone). La configuration du module, qui comprend les données relatives aux colis et à leur position dans le stockage, est archivée.
- Au niveau 5, les ouvrages d'accès au fond depuis la surface (puits et descenderies) sont remblayés et scellés. Les installations de surface peuvent être démantelées ou reconfigurées pour d'autres usages. Les colis restent intègres. Les données sont conservées. Un contrôle institutionnel reste en place.
- Au niveau 6 de l'échelle, beaucoup de temps s'est écoulé, et l'intégrité des colis de déchets ne peut plus être garantie, du fait des phénomènes de dégradation à long terme ou par perte de données. La radioactivité a fortement décru, en particulier celle des radionucléides de courte période. La radioactivité résiduelle reste confinée au niveau des installations souterraines. Une récupération des déchets serait plus difficile que dans les stades précédents, car elle ne pourrait plus s'appuyer sur l'aptitude des colis à être manutentionnés. Cela mettrait en œuvre des techniques minières compatibles avec des exigences de radioprotection, de manière similaire à l'exploitation minière d'un gisement à haute teneur en uranium.

L'échelle illustre le caractère progressif du processus de stockage et permet de définir un jalonnement décisionnel possible associé au franchissement des différents niveaux. Elle montre également que le caractère « passif » de la sûreté du stockage augmente au fur et à mesure de l'avancement du processus de stockage en contrepartie d'une complexité croissante de retrait des colis. Cela est illustré par la Figure 5.3-2.

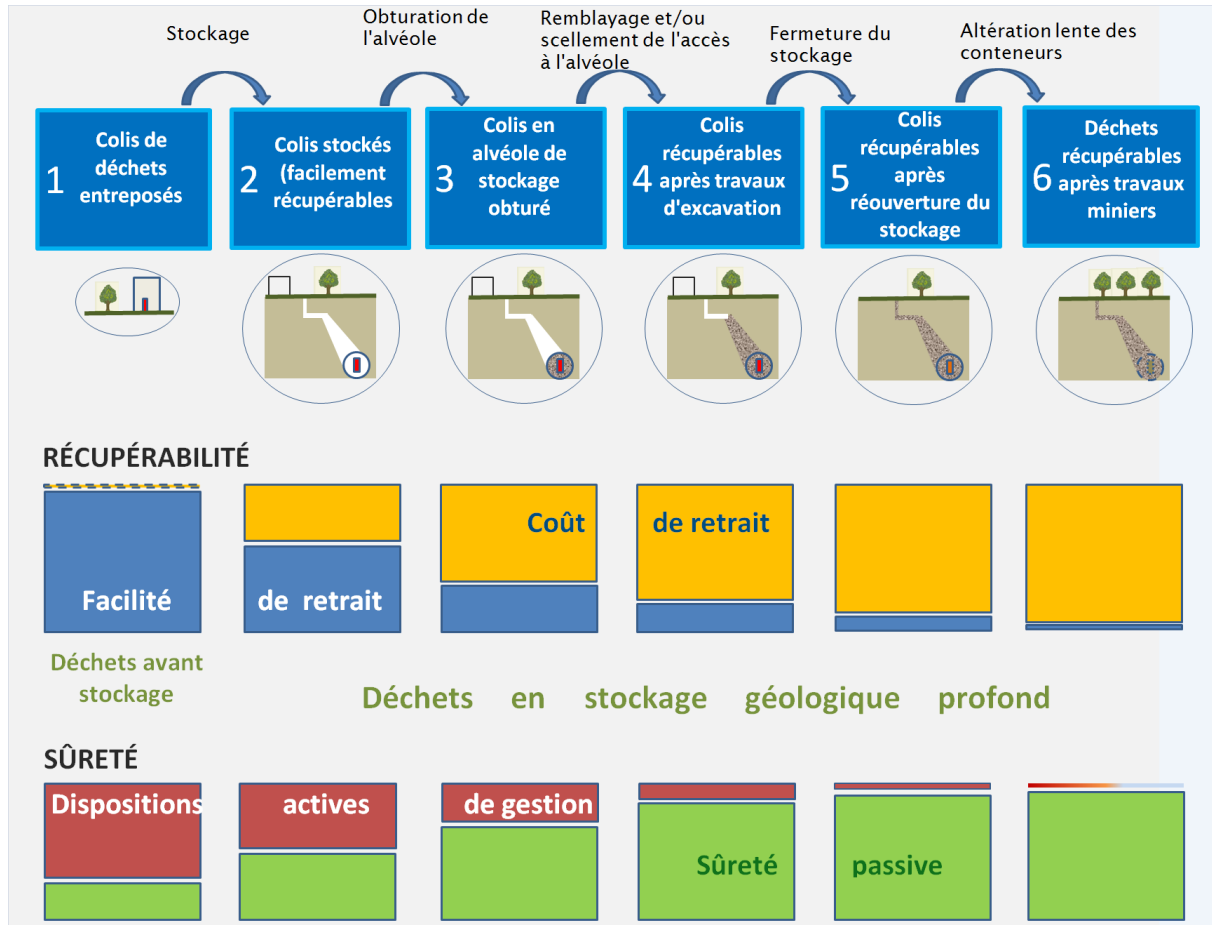


Figure 5.3-2 Evolution de la facilité de retrait et de la passivité de l'installation en fonction du niveau dans l'échelle

L'échelle peut également être utilisée pour représenter les choix ouverts aux différents points décisionnels, comme illustré sur la Figure 5.3-3.

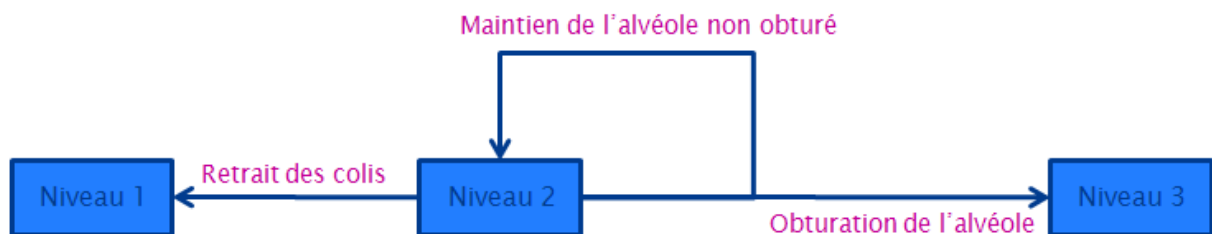


Figure 5.3-3 Choix de gestions possibles pour un alvéole au niveau 2

La Figure 5.3-4 montre, de manière théorique, le déroulement temporel possible des différentes décisions de gestion d'un groupe de colis, du niveau 1 (entreposage en surface) au niveau 3 (alvéole obturée). Les options de conception présentées au chapitre 4 permettent d'envisager plusieurs scénarios de gestion du processus de stockage, suivant les décisions qui seront prises concernant la durée du maintien au niveau 2 puis au niveau 3 de l'échelle. Par ailleurs, les niveaux de l'échelle peuvent être appliqués de manière différenciée aux différentes familles de déchets et d'ouvrages. Par exemple, il serait possible de gérer à une même date des modules au niveau 2, au niveau 3 et au niveau 4 dans le stockage.

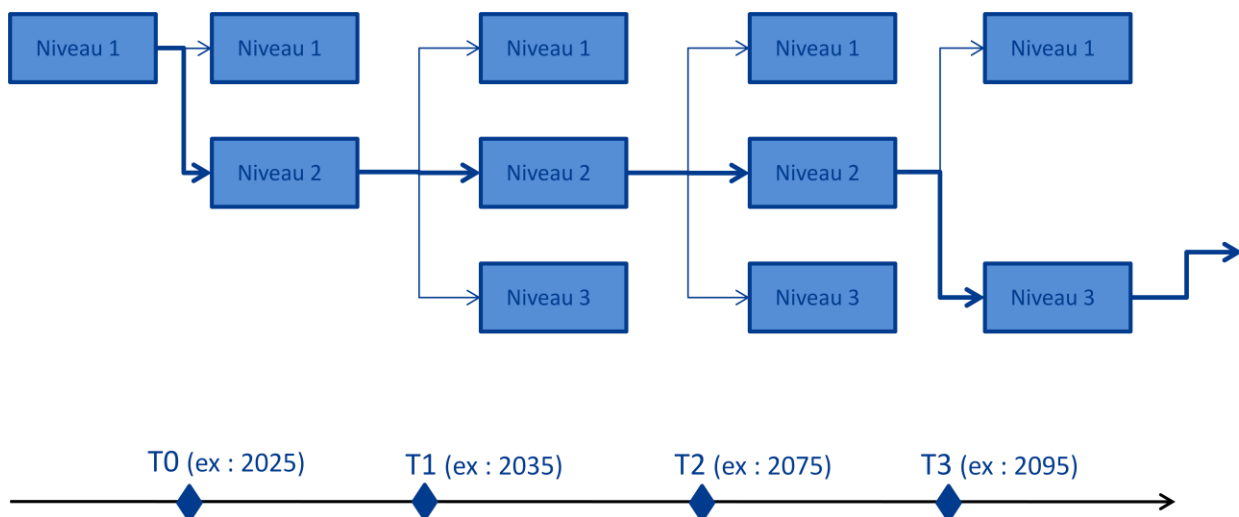


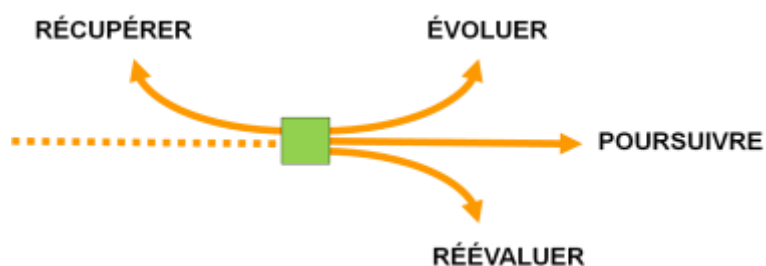
Figure 5.3-4 Exemple d'enchaînement possible de décisions pour un groupe de colis.

5.4 Premières propositions concernant le processus décisionnel et la durée de réversibilité

L'Andra a défini 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.

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 (construction de nouveaux modules de stockage en intégrant les évolutions de conception, mise en place progressive des équipements de sûreté passive), d'un maintien en l'état ou d'un retour en arrière.

La définition des jalons décisionnels et des modalités du processus décisionnel associé constitue donc un enjeu important pour la future loi qui définira les conditions de réversibilité du stockage.



Pour faciliter les échanges avec les parties prenantes sur ce sujet, l'Andra a proposé le développement d'une échelle au niveau international dans le cadre du projet « Réversibilité et Récupérabilité » coordonné par l'Agence de l'Energie Nucléaire (AEN) de l'OCDE. Cette échelle identifie différents niveaux de récupérabilité, qui correspondent également à l'ajout progressif d'éléments de sûreté passive (cf. § 5.3). Il serait possible de définir des jalons décisionnels associés au franchissement d'un niveau dans l'échelle.

Le stockage est conçu pour pouvoir être fermé pour ne pas laisser la charge de la gestion des déchets aux générations futures. Afin d'offrir une flexibilité au pilotage du processus de stockage, l'Andra a proposé que cette fermeture puisse être mise en œuvre de manière progressive, permettant une diminution graduelle du niveau de récupérabilité au fur et à mesure que l'on décide de franchir les étapes de fermeture en mettant en place des scellements ou en fermant des galeries de liaison souterraines. La mise en place de scellements en argile gonflante et le remblaiement des galeries de liaison permettent de limiter à long terme les circulations d'eau dans les ouvrages de stockage et les déformations mécaniques de l'argilite. Ces composants sont nécessaires pour la sûreté à long terme du stockage, qui doit être assurée de manière totalement passive. Leur mise en place rendra plus complexe un éventuel retrait des colis. Le processus décisionnel pour la mise en place des équipements de sûreté passive du stockage devra être défini. Des étapes intermédiaires pourraient être identifiées, par exemple à l'échelle de la fermeture d'une sous-zone de stockage.

L'Andra intégrera au dossier support au débat public, prévu en 2013, des propositions concernant le processus décisionnel. Les textes réglementaires existants fournissent des premiers éléments. La loi de programme du 28 juin 2006 définit le processus décisionnel lié à l'autorisation de création du centre de stockage réversible profond. Elle prévoit d'ores et déjà que seule une loi pourra autoriser la fermeture définitive du centre de stockage. La loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité nucléaire fournit un cadre qui pourrait s'appliquer aux décisions de fermeture (cf. § 5.4.1).

La question de la durée de réversibilité fait l'objet d'échanges avec les parties prenantes (cf. chapitre 1). L'Andra propose que les modalités de réversibilité soient réévaluées régulièrement, de la même façon qu'un exploitant nucléaire procède régulièrement au réexamen de la sûreté de son installation¹⁸. Ces réévaluations constitueraient également des jalons pour le processus décisionnel (cf. § 5.4.2).

5.4.1 Propositions concernant le processus décisionnel

La décision de fermer une zone du stockage implique de remblayer les galeries sur une partie de l'installation. Cette action pourrait être considérée comme une modification notable du centre de stockage, qui nécessiterait selon l'article 29-II de la loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité nucléaire (loi n°2006-686), une autorisation par décret en Conseil d'Etat, pris après avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et après enquête publique. Cette étape correspondrait au passage au niveau 4 du projet d'échelle présenté précédemment pour une partie du stockage (cf. Figure 5.4-1).

Le décret du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base (décret n° 2007-1557) définit la mise à l'arrêt définitif d'une installation de stockage de déchets radioactifs comme le moment où elle cesse de recevoir de nouveaux déchets. Pour procéder à l'arrêt définitif du stockage et passer en phase de surveillance, l'exploitant déposera auprès des ministres chargés de la sûreté nucléaire une demande d'autorisation. La demande d'autorisation et le dossier dont elle est assortie sont soumis aux consultations et enquêtes applicables aux demandes d'autorisation de création. L'autorisation est délivrée par décret pris après avis de l'Autorité de sûreté nucléaire. Ce décret décrit les opérations à la charge de l'exploitant après l'arrêt définitif.

¹⁸ « L'exploitant d'une installation nucléaire de base procède périodiquement au réexamen de la sûreté de son installation en prenant en compte les meilleures pratiques internationales. Ce réexamen doit permettre d'apprécier la situation de l'installation au regard des règles qui lui sont applicables et d'actualiser l'appréciation des risques ou inconvénients que l'installation présente pour les intérêts mentionnés au I de l'article 28, en tenant compte notamment de l'état de l'installation, de l'expérience acquise au cours de l'exploitation, de l'évolution des connaissances et des règles applicables aux installations similaires » (article 29 de la loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (loi n°2006-686)).

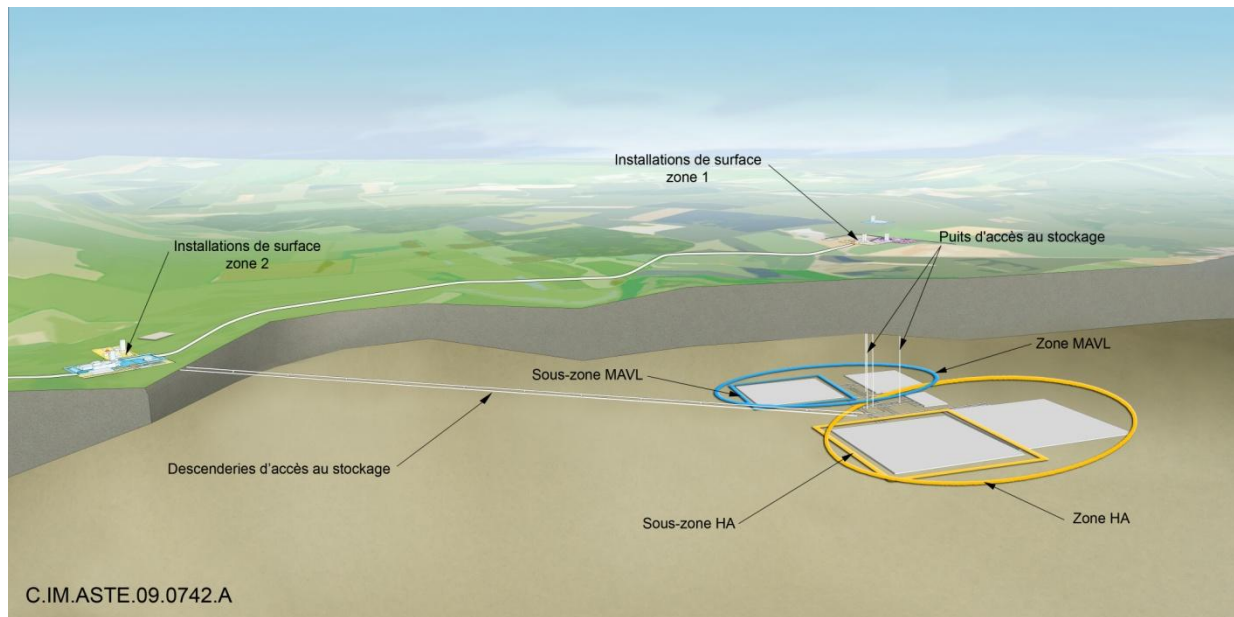


Figure 5.4-1 Zones et sous-zones HA et MAVL du stockage

5.4.2 Durée(s) de réversibilité

La loi du 28 juin 2006 indique que la durée de réversibilité ne peut être inférieure à cent ans, sans préciser la période couverte par cette durée. Cette question renvoie notamment aux motivations de la demande de réversibilité et à la crainte d'un abandon du site après la fermeture du stockage. Par ailleurs, l'échelle présentée précédemment montre que différents niveaux de récupérabilité des déchets doivent être considérés dans le processus de gestion du centre de stockage.

L'Andra propose que la définition de la période de réversibilité s'étende du premier colis mis en stockage jusqu'à la fermeture des ouvrages de liaison surface-fond. Cette étape de fermeture marque le début de la phase de contrôle institutionnel du site et serait autorisée par une loi¹⁹. Les options de conception présentées au chapitre 4 permettent d'assurer, pour chaque module de stockage, une durée de réversibilité de cent ans au moins à partir de sa mise en exploitation.

La période de réversibilité porterait ainsi sur les niveaux 2, 3 et 4 du projet d'échelle présenté précédemment, des étapes intermédiaires de fermeture pouvant être définies avant l'arrêt définitif du centre de stockage et la fermeture des liaisons surface-fond (passage au niveau 5). Il convient de noter que le stockage reste au niveau 5 après sa fermeture définitive, tant que les conteneurs de stockage restent intègres. Sur cette période, la récupération des colis resterait envisageable avec des travaux d'excavation importants. Au-delà, le retour aux déchets nécessiterait la combinaison de moyens de type minier et nucléaire, comparables sur le principe à ceux utilisés dans certaines mines d'uranium.

L'Andra propose également que les modalités de réversibilité soient réévaluées régulièrement. Ces réévaluations s'appuieraient notamment sur les données fournies par l'observation-surveillance, sur une analyse des enjeux liés à la sûreté, à l'exploitation et à l'impact du stockage. Elles pourraient également comprendre une analyse du retour d'expérience pour la conception et la réalisation des futures tranches du stockage, une actualisation des connaissances scientifiques et techniques ainsi qu'une évaluation des recherches relatives à la gestion des déchets.

¹⁹ L'article 12 de la loi du 28 juin 2006 précise que seule une loi peut autoriser la fermeture définitive du centre de stockage.

6

Les études et recherches sur
la mémoire

Après fermeture des installations souterraines de stockage, à long terme, la sûreté ne repose ni sur la mémoire du site, ni sur son oubli. Elle repose à long terme sur la capacité de la roche à confiner passivement sur une très longue durée les déchets.

Le Guide de sûreté (ASN, 2008) précise ainsi que « *après la fermeture de l'installation de stockage, la protection de la santé des personnes et de l'environnement ne doit pas dépendre d'une surveillance et d'un contrôle institutionnel qui ne peuvent être maintenus de façon certaine au-delà d'une période limitée* ». « *La mémoire de l'existence du stockage dépend de la pérennité des mesures qui peuvent être mises en œuvre lors de l'archivage et des documents institutionnels résultant de la réglementation ; dans ces conditions, la perte de mémoire de l'existence du stockage peut être raisonnablement située au-delà de 500 ans* ».

L'oubli ne peut se décréter. En revanche, la mémoire peut s'organiser et se transmettre. L'Andra ne travaille donc pas à l'oubli du site mais à la possibilité d'en conserver la mémoire, au moins sur la durée minimale de 500 ans mentionnée dans le Guide de sûreté, et si possible au-delà. Pour autant on ne peut exclure à long terme un oubli du stockage. Ce dernier est donc conçu pour rester sûr après son oubli²⁰. Ceci fait notamment partie des évaluations internationales et nationales des dossiers de l'Andra.

La solution de mémorisation à long terme mise en place pour les centres de surface permet déjà de conserver la mémoire du site sur une durée minimale de cinq siècles (cf. encadré). L'Andra participe à des réflexions internationales sur la possibilité de mémoriser le site sur une échelle de temps plus grande (à l'échelle millénaire telle qu'étudiée au Japon, et de dizaines de milliers d'années comme les Etats-Unis).

Dans le cadre de la démarche d'échanges sur la réversibilité, l'Andra étudie la mise en place d'un espace de partage et de co-construction de l'information sur la réversibilité. Le développement de ce type d'outil, en favorisant l'accès et la diffusion de l'information, pourrait également être utilisé pour consolider la mémoire sur le stockage.

L'Andra participe également à des réflexions internationales sur la possibilité de mémoriser le site sur une échelle de temps plus grande. Certaines technologies étudiées pourraient durer des centaines de milliers d'années (disques en saphir). Une part de la réflexion a été engagée sur l'opportunité de mettre en place des marqueurs, qui signaleraient à des générations lointaines l'existence d'un stockage en profondeur ; c'est un sujet qui fait encore débat.

Enfin, l'Andra structure actuellement un projet de « Centres de la mémoire des stockages de déchets radioactifs », dont un des objectifs majeurs sera de faciliter l'appropriation par les populations locales des centres et de leur mémoire. Ce projet pourrait faire appel à des disciplines très différentes comme :

- des archives numériques ou sur papiers normal ou permanent,
- des œuvres artistiques (contemporaines ou non) comme vecteur de transmission de la mémoire
- un espace muséographique pour présenter l'évolution des technologies de stockage au fil des décennies puis des siècles où il s'est réalisé,
- la conservation d'échantillons de la biodiversité (sol, faune, flore, micro-organismes...) via une écothèque et d'échantillons des sous-sols via une géothèque,
- des recherches sur la linguistique (vieillesse et disparition des langues), la pérennité de différents supports, la symbolique, la création et la transmission des légendes, l'archéologie des paysages...
- les réflexions sur les besoins locaux, notamment la perception que l'on peut avoir des besoins des générations futures et lointaines...

Ce projet pourrait être confié à un établissement à proximité de chaque centre de stockage existant et futur.

²⁰ Pour prendre en compte le risque d'un oubli du stockage et évaluer l'impact d'une éventuelle intrusion humaine dans le stockage, les études de sûreté considèrent l'éventualité de scénarios d'évolution altérée (par exemple réalisation d'un forage traversant un module de stockage).

La mémoire des centres de surface

L'Andra a fait le choix, pour ses centres de surface, de définir des critères permettant de trier et de hiérarchiser les connaissances produites. Ces critères se fondent sur des scénarios auxquels pourraient être confrontées les générations futures, et prennent en compte un besoin pour d'éventuels historiens de comprendre les choix sociétaux et technologiques opérés par la génération actuelle et celles passées. Cette sélection de connaissances s'appelle la « mémoire détaillée » du centre de stockage. Elle sert essentiellement à pouvoir comprendre de façon approfondie le site et à le modifier, si nécessaire. Les documents décrivant complètement le stockage (mémoire détaillée) sont archivés en deux lieux distincts (sur le site de stockage et aux archives nationales).

Néanmoins, ce corpus de connaissances est trop volumineux et trop technique pour être accessible par un large public. C'est pourquoi l'Andra a aussi fait le choix de réaliser un ouvrage unique de taille modeste (169 pages pour le Centre de stockage de la Manche), avec de nombreuses illustrations, appelé « mémoire de synthèse ». Cet ouvrage est destiné à être très largement diffusé auprès du public, des décideurs, des administrations, des associations, des notaires... de sorte qu'il en subsiste « toujours » quelques exemplaires et que la connaissance soit maintenue. Il s'agit là d'une « défense en profondeur » qui permettra à tous ceux qui posséderont cette mémoire de synthèse de s'interroger globalement sur le centre, notamment si certains avaient envie de le modifier sans en connaître suffisamment le contenu.

En ce qui concerne les modalités (dont le support), la mémoire détaillée et la mémoire de synthèse stabilisée sont éditées sur du « papier permanent ». Les caractéristiques normalisées internationalement du papier permanent (pH légèrement basique, faible teneur en lignine, résistance élevée à la déchirure) lui confèrent une durabilité très supérieure à celle des papiers usuels. Des études commanditées par l'Andra entre 2007 et 2009 ont montré une durabilité de cette solution de l'ordre de huit siècles (plus ou moins deux), ce qui couvre la période réglementaire actuellement définie pour tous les stockages réalisés et à venir.

Conserver la mémoire du stockage ne se limite pas à se souvenir de son existence. Il s'agit aussi de maintenir disponibles les informations essentielles sur la nature des déchets stockés, leur localisation, et toute autre information jugée pertinente, de façon à permettre aux générations futures de disposer des éléments les plus utiles pour d'éventuelles nouvelles décisions relatives au stockage. L'Andra souhaite soumettre régulièrement la mémoire détaillée du stockage à une revue d'expertise pluraliste et internationale. L'objectif de ces revues régulières est d'appréhender de proche en proche et de façon intergénérationnelle les besoins des générations futures en termes de mémoire à long terme, et de consolider progressivement les solutions mises en place par l'Andra pour y répondre.

ANNEXES

Annexe 1 : Discours d'introduction au colloque interdisciplinaire sur la réversibilité (Nancy, 17 juin 2009)

Intervention du député Claude BIRRAUX, Président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

Monsieur le Président, Madame la Directrice, Mesdames et Messieurs, Bonjour. Je vous remercie de l'honneur que vous me faites de m'exprimer à l'occasion de ce colloque. Je regrette de ne pouvoir être avec vous à Nancy, mais les multiples sollicitations adressées à l'Office parlementaire font que dans quelques instants je vais aller débattre de questions de politique spatiale avec Valérie Péresse.

La renommée de l'Office Parlementaire s'est faite bien sûr par des actions structurantes dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs avec les lois de 1991 et de 2006, mais aussi dans d'autres domaines comme celui de la politique spatiale.

Je vous parle donc depuis les locaux de l'Assemblée Nationale, cela me permet d'utiliser cette magnifique installation de visioconférence de notre Assemblée. Je voudrais vous dire d'abord que la loi du 28 juin 2006 est considérée dans le monde entier comme une loi structurante, c'est-à-dire que nous sommes le seul pays qui a véritablement structuré les recherches et les étapes pour aller vers une gestion durable des déchets radioactifs.

Je voudrais vous dire ensuite que la réversibilité est une notion centrale dans l'architecture qui a été bâtie dans la loi du 28 juin 2006. Elle y revêt deux dimensions cruciales : scientifique et juridique.

Juridiquement, c'est un point d'appui pour prendre un rendez-vous parlementaire, en évitant de donner une injonction au Gouvernement mais en invitant le Gouvernement, après tout un processus qui a été défini par l'Office parlementaire et repris par la loi, d'avoir ce nouveau rendez-vous parlementaire. Pourquoi ce nouveau rendez-vous parlementaire ? Parce qu'il est apparu qu'en votant la loi de 2006 le Parlement, expression de la souveraineté nationale, ne pouvait pas rester à laisser faire les choses et ne plus assurer le suivi de ce qui allait se passer. Donc, le rendez-vous parlementaire est devenu incontournable, parce qu'il faut donner des garanties aux populations, des garanties aux scientifiques, sur ce que sera ce stockage réversible.

Pourquoi la réversibilité ? La réversibilité c'est parce qu'on a quelque mal à imaginer que l'on puisse mettre des colis de déchets radioactifs et qu'on dise « voilà, ils sont là, on ne s'en occupe plus ». On ne peut pas ne pas s'en occuper, donc on va continuer à s'en occuper, et définir les conditions de la réversibilité. C'est-à-dire que c'est le Parlement qui définira les conditions qui s'appliqueront ensuite pendant une durée minimum de 100 ans et, je vous rappelle Monsieur de Président, que seul le Parlement, par une loi, pourra en décider. Je pense que nos successeurs dans une centaine d'années ou un peu plus, pourront décider de la fermeture éventuellement définitive du site de stockage. Donc, le Parlement est au cœur de l'ensemble du dispositif et c'est pour donner ces garanties aux citoyens que le Parlement sera à nouveau saisi.

Alors pourquoi cette durée de cent ans minimum ? Lorsque l'on considère que le premier EPR peut être mis en place vers 2012-2015, le second et les autres vers 2020, et qu'ils sont prévus pour une durée de vie de 60 ans, ce qui nous amène à peu près à 2080, le temps de refroidissement, de conditionnement, de recyclage d'un certain nombre de produits qui sont réutilisables, cela nous amène à une centaine d'années facilement. Nos successeurs seront chargés de trancher sur ce qu'il adviendra après 100 ans.

Mais scientifiquement, il faut que cette question de réversibilité soit ouverte, pour qu'elle puisse être utilisée juridiquement. Aujourd'hui, il n'y a pas de fléchage vers tel ou tel aspect de la réversibilité. Tant que la discussion législative n'est pas engagée toutes les options doivent rester juridiquement ouvertes pour respecter la loi du 28 juin 2006. S'il en était autrement la démarche ne serait pas scientifique.

Cette situation me convient tout à fait sur le plan scientifique car, pourquoi *les options* ouvertes ? Pour que la science puisse déployer toutes ses potentialités scientifiques jusqu'à l'engagement de la procédure d'autorisation du stockage. Je pourrais décliner diverses facettes de cette notion s'agissant des diverses options possibles, des contraintes à prendre s'agissant de la sûreté et des coûts.

Nous avons auditionné, comme vous l'avez rappelé Monsieur le Président, l'ANDRA il y a quelques semaines, et vous nous avez présenté des axes de réflexions qui sont pertinents et qui vont probablement aider à structurer les travaux de ce colloque. J'en laisse la propriété intellectuelle à Mme Dupuis.

Pour ma part, je me limiterais à deux observations. La première vient de ce que mes fréquents contacts avec des collègues de la communauté nucléaire internationale et en particulier américaine, m'amènent souvent à recueillir de leur part une réaction assez intéressante vis-à-vis de la notion de réversibilité. A l'expression « réversibilité », ils répondent ou ils comprennent « *retrievability* », c'est à dire récupérabilité. Cette petite nuance sémantique perçoit toute la différence de culture entre l'esprit théorique français et l'esprit pratique américain. Eux voient tout de suite le colis à retrouver pour aller le chercher, de même qu'un moteur de recherche doit ramener des mots qui figurent dans un document.

J'approuve certes leur pragmatisme mais je ne pense pas pour autant qu'il faille en ce qui nous concerne, nous français, nous enfermer dans des limites trop concrètes : la notion de réversibilité doit avoir aussi une signification plus procédurale en visant les mécanismes de décision sur la poursuite ou sur l'arrêt du stockage. Je me réjouis que les représentants du Clis de Bure participent au débat car leur point de vue est essentiel. Ils aident certes à élargir le champ des réflexions sur la réversibilité au-delà de l'approche purement technicienne. Je les salue et je me souviens avec bonheur et avec plaisir quelle avait été leur participation aux auditions publiques organisées en 2005 par l'Office parlementaire.

La deuxième observation concerne l'argument selon lequel la vitrification constitue en soit une limite technologique à l'extension de la réversibilité, du fait même qu'il s'agit d'un dispositif très robuste de protection de l'environnement, qui, à l'inverse, fonctionne comme un obstacle très efficace à l'accès aux actinides incorporés dans les verres.

A cet argument, je réponds qu'il reste encore quelques années d'ici 2015 et encore plus d'ici 2025 et au moins un siècle avant la fermeture du stockage, donc laissons sa chance à la science. S'il est vrai que l'industriel ne peut pas travailler dans un espace infiniment ouvert et indéfini dans le temps, néanmoins il ne faut pas non plus se priver des richesses de la créativité humaine, en se collant des œillères et des limites trop tôt.

En conclusion, je me réjouirai de deux choses. D'une part de l'investissement de l'Andra sur cette question de la réversibilité en étudiant toutes les stratégies possibles, ce qui l'amène même à prendre des initiatives internationales à cet égard ; preuve en est la participation à ce colloque de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE. D'autre part, de ce que cette démarche fait une place aux sciences humaines et sociales, car les travaux sur ce terrain ne pourront qu'aider les parlementaires à se forger leur opinion lors des discussions sur la réversibilité en 2015.

Sinon je ne peux que vous inciter à échanger pleinement lors de ces trois jours de réflexions, car votre investissement sera autant de matière venant nourrir la préparation des décisions futures. Ce colloque scientifique marque vraiment que la gestion des déchets nucléaires est une affaire scientifique sur des technologies de pointe, avec des scientifiques de haut niveau. Je voudrais les remercier et les saluer en leur souhaitant de fructueux échanges au cours de ce colloque. Merci pour votre attention.

Annexe 2 : Rapport d'activités 2008 du Comité d'expertise et de suivi de la démarche d'information et de consultation

Le comité d'expertise et de suivi de la démarche d'information et de consultation de l'Andra (Coesdic)

Rapport d'activités 2008

Juin 2009

La loi de programme du 28 juin 2006 prévoit la poursuite des études et des recherches concernant le stockage réversible en couche géologique profonde des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Cette loi confie à l'Andra une mission d'information du public qui doit contribuer à la préparation de la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage qui sera instruite en 2015. Cette mission d'information doit faciliter l'instauration d'un dialogue entre les pouvoirs publics et les différentes parties prenantes, qui incluent notamment les futurs riverains du centre de stockage.

C'est dans le but de l'accompagner et de la conseiller dans l'exécution de cette mission que l'Andra a décidé, à la fin de l'année 2007, de créer un comité appelé Coesdic¹. Ce comité s'est réuni pour la première fois le 20 février 2008. Les quatre personnes qui sont membres du Coesdic ont été choisies en fonction de leur expérience en matière de participation citoyenne aux décisions industrielles et technologiques. Il s'agit de :

- **Michel Callon**, membre du Conseil Scientifique de l'Andra, sociologue et professeur à l'École des Mines de Paris ;
- **Anne Bergmans**, sociologue et collaborateur scientifique à l'Université d'Anvers (Belgique);
- **Pierre-Benoît Joly**, économiste et sociologue, directeur de recherche à l'INRA ;
- **Saida Laârouchi-Engström**, responsable Évaluation d'Impact Environnemental et Information Publique SKB (Suède)

¹ Comité d'expertise et de suivi de la démarche d'information et de consultation de l'Andra. Initialement ce comité s'appelait Comité d'évaluation et suivi de la démarche d'information et de consultation. Sa dénomination a été changée pour souligner que ce comité n'avait pas à proprement parler de responsabilité en matière d'évaluation des actions de l'Andra.

1. Statut, missions et modalités de fonctionnement du Coesdic

Le Coesdic a contribué à l'élaboration d'une charte définissant ses missions, son statut et ses modalités de fonctionnement :

- De manière à assurer son indépendance, le Coesdic est rattaché au Conseil scientifique (CS) de l'Agence, dont les membres sont nommés par les ministères de tutelle de l'Andra. Ce rattachement est assuré par le fait que le président du Coesdic (Michel Callon) est également membre du CS. De plus le Coesdic transmet au CS les avis qu'il formule ainsi que son rapport d'activités annuel. Le CS discute ces documents en réunion restreinte et formule des recommandations à l'attention du président du Coesdic

- Le Coesdic n'est en aucune façon le porte-parole des parties prenantes ; il n'est dépositaire d'aucun mandat et n'a pas de responsabilité vis-à-vis de la société. Sa seule légitimité est celle qui découle de l'expertise et de l'expérience de ses membres.

- Le Coesdic a pour mission, non pas d'évaluer les actions de l'Andra et encore moins de participer aux décisions que l'Agence est amenée à prendre. Il a un rôle de conseil. Il se borne à donner des avis consultatifs et à formuler des recommandations et des suggestions.

- Cette activité de conseil prend différentes formes. Lorsqu'il est sollicité, le Coesdic réagit en temps réel à des initiatives ou à des questions de la direction de l'Andra (dans ce cas le président transmet la position du Coesdic sur le sujet en cause après avoir consulté tous les membres). Par ailleurs, aux moments-clés des programmes, il rédige des avis dans lesquels il présente ses observations et recommandations ; les destinataires de ces avis sont la direction de l'Andra et le CS. Enfin un rapport annuel présente les activités du comité, les principales recommandations et observations qu'il a faites, et l'appréciation globale qu'il porte sur les démarches engagées par l'Andra en matière d'information du public et de dialogue avec les parties concernées ; ce rapport, après validation par le conseil scientifique, est rendu public.

- Lors de sa première réunion, le Coesdic a accepté d'étendre sa mission de conseil et d'accompagnement au programme FAVL (déchets à faible activité et à vie longue), sous la condition, acceptée par la direction de l'Andra, que l'Agence s'engage à mettre en place une véritable démarche de dialogue et d'information autour de la réalisation de ce programme.

2. Les avis et recommandations du Coesdic

Au cours de l'année 2008, le Coesdic a tenu quatre réunions. Il a rédigé deux avis et est intervenu à plusieurs reprises, de manière informelle, pour donner son appréciation sur les dispositifs d'information, de dialogue, et de débats concernant les projets HAVL et FAVL.

Le Coesdic a attiré l'attention de l'Andra sur les points suivants :

2.1 La position de l'Agence par rapport aux consultations

- Le Coesdic a conseillé à l'Agence de clarifier sa position vis-à-vis des processus et dispositifs de consultation existants. La mission de l'Andra ne devrait pas être d'organiser les consultations mais de participer à leur préparation et à leur déroulement, en faisant en sorte que toutes les informations qui sont nécessaires à un débat éclairé soient disponibles et accessibles. L'Andra rédige des rapports dont les destinataires sont les pouvoirs publics et les instances de consultation. Ces rapports sont fondés sur une double investigation : la première est scientifique et technique et permet notamment de caractériser les propriétés géologiques des sites; la seconde est socio-économique et a pour but une caractérisation complète des activités et structures de la zone, ainsi qu'une identification des parties prenantes, de leurs attentes et de leurs préoccupations.

- S'agissant du projet HAVL, cette exigence conduit à reconnaître la place privilégiée du CLIS et de la CNDP dans l'organisation du débat et de la consultation. L'Andra devrait de son côté veiller : a) à ce que toutes les informations scientifiques, techniques, et notamment celles qui concernent les analyses de sûreté, soient intelligibles et accessibles; b) à ce que les différents groupes concernés par le dossier soient identifiés et aient la possibilité d'explicitier les critères qui leur paraissent importants pour le choix de l'implantation et pour les modalités de réalisation du stockage.

Pour parvenir à l'identification de ces critères, non scientifiques et non techniques, l'Andra s'efforcera de mettre en œuvre les moyens les mieux adaptés (groupes d'échanges et de travail, focus groupes, échanges organisés lors des visites du site, etc ...), l'objectif étant d'optimiser le recueil d'informations pour aboutir à une cartographie sociale des acteurs et de leurs préférences.

- S'agissant du projet FAVL, la question s'est également posée du rôle spécifique de l'Andra en matière de consultation et d'information. Là encore le Coesdic a recommandé que l'Agence ne prenne pas d'initiative en matière de consultation et adopte la même ligne de conduite que pour le projet HAVL, en rendant disponible et accessible, sur chacun des sites, l'information scientifique et technique au fur et à mesure de sa production.

2.2 Le projet HAVL

S'agissant du projet HAVL, le COESDIC a insisté sur les points suivants :

• Le choix des sites

- La zone de transposition est définie comme un territoire géologiquement homogène. Il résulte de cette définition que le stockage futur peut être implanté en toute sûreté en n'importe quel endroit de cette zone. Les investigations entreprises par l'Andra pour affiner la caractérisation géologique de la zone de transposition permettront d'éclairer les choix, de les

hiérarchiser, de les pondérer et de les optimiser, mais sans remettre en cause le principe selon lequel l'ensemble de la zone est acceptable.

- Le découplage entre la Zira (*zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie*) et la Ziis (*zones potentielles d'implantation des installations de surface*) doit être affirmé car il autorisera une plus grande souplesse dans les choix et dans la formulation de compromis. Ce découplage doit être évidemment maintenu dans des limites qui seront fixées par les contraintes liées à l'ingénierie (descenderie, etc.).

- Les critères de choix, autres que scientifiques, technologiques ou réglementaires, qui seront mis en avant par les différentes parties prenantes doivent faire l'objet d'une explicitation ; ces critères seront distingués selon qu'ils s'appliquent à la Zira ou aux Ziis.

- Au total, les pouvoirs publics disposeront d'un ensemble de critères hétérogènes : critères scientifiques et techniques qui permettront de classer les différents secteurs de la zone de transposition ; critères extra-scientifiques qui permettront de prendre en compte les préférences et points de vue des parties prenantes. L'Andra s'attachera à établir de la manière la plus claire et la plus incontestable cette liste de critères avant de la transmettre aux décideurs. Ceux-ci pourront alors se livrer à un exercice d'optimisation multi-critères destiné à pondérer les aspects géologiques, logistiques (transports), d'ingénierie, ainsi que les attentes et demandes des différents groupes concernés.

• La question de la réversibilité

Les réponses à apporter à la question de la réversibilité du stockage seront au cœur du débat public et de la rédaction de la future loi. Le Coesdic a recommandé que l'Andra joue un rôle moteur dans la réflexion sur cette difficile question, de manière à ce qu'elle puisse être prise en compte le plus tôt possible dans le processus de discussion des différentes options.

Le Coesdic a soutenu l'initiative prise par l'Agence d'organiser des échanges avec les sciences humaines et sociales. La première rencontre qui a eu lieu le 2 octobre 2008 s'est révélée très positive. Elle a été l'occasion d'échanges fructueux entre chercheurs en sciences sociales et responsables de l'agence. Le colloque qui se tiendra du 17 au 19 juin 2009 à Nancy sera une occasion de progresser dans la réflexion qui peut amener à envisager de manière nouvelle le rapport aux générations futures.

L'Andra devrait se préparer au débat national qui prendra la suite du débat local. Il est donc important qu'un travail exploratoire sur les attentes et positions des différentes parties prenantes au niveau national, notamment en matière de réversibilité, soit entrepris. Ceci facilitera la préparation d'options alternatives susceptibles d'être soumises au débat public.

L'Agence s'attachera à élaborer un discours simple, mais juste, sur les règles de sûreté.

2.3. Le projet FAVL

Le Coesdic a accompagné l'Andra dans sa réflexion sur les modalités du choix du ou des sites de stockage. Le Coesdic estime que l'organisation des consultations revient aux municipalités et à la CNDP. Il soutient la décision prise par le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, et plaidée par l'Andra, de solliciter l'avis de la CNDP. Il enregistre avec satisfaction la position de la CNDP qui recommande l'organisation de débats pour chacun des sites présélectionnés.

Le Coesdic souligne le rôle critique de l'Andra, car les connaissances scientifiques et techniques concernant les sites seront acquises au fur et à mesure que le projet avancera et avec lui la consultation des parties prenantes. Cette situation n'est pas exceptionnelle, mais elle est différente de celle du projet HAVL pour lequel les connaissances précèdent la consultation et le débat. L'Andra devra donc faire preuve de beaucoup de réactivité pour rassembler des informations robustes et pertinentes, aussi bien sur les aspects scientifico-techniques que socio-économiques, et pour les mettre à disposition dans un premier temps des participants aux débats et dans un deuxième temps des décideurs publics.

Le Coesdic a insisté sur la nécessité de permettre aux maires de ré-examiner leur décision de s'engager, une fois les investigations géologiques et les consultations achevées. Il suggère en outre que l'éventualité de deux sites, l'un pour les graphites et le second pour les autres déchets, soit examinée.

3. Points de vigilance et pistes à explorer

Le Coesdic note avec satisfaction que l'Andra a pris en compte l'essentiel des recommandations qu'il a faites. Il souligne en outre les points suivants :

- La démarche suivie par l'Andra représente une innovation importante. Son caractère inhabituel pourrait engendrer scepticisme et méfiance. L'Agence devra vaincre ces obstacles et instaurer un climat de confiance, en montrant que les décisions finales ne sont pas encore prises et qu'elles tiendront compte des débats engagés.

- La nouveauté de la démarche implique qu'une grande attention soit apportée aux commentaires et réactions des différents groupes concernés. Cette logique d'apprentissage s'applique aussi bien au Coesdic qu'à l'Andra. Elle nécessite une forte et constante mobilisation des personnels de l'Agence.

- Le projet FAVL peut grandement bénéficier des connaissances et de l'expérience acquises dans le cadre du projet HAVL. Il importe donc d'instaurer une forte coordination entre les deux projets.

- L'implication des sciences humaines et sociales (SHS), notamment sur la thématique de la réversibilité et de ses modalités, est très originale. Elle doit permettre de penser la diversité des scénarios et des options possibles. Ces scénarios seront d'autant plus robustes que l'Agence se sera efforcée d'assurer une coordination et des échanges entre ingénierie, sciences de la nature et SHS

- Le Coesdic est prêt à dialoguer avec les différentes parties prenantes et à se rendre sur le (ou les) sites pour les rencontrer, si elles en manifestent le désir.

- Le Coesdic est préoccupé par les contraintes du calendrier qui risquent de rendre difficile la tâche de l'Andra.

Annexe 3 : Intervention de la CNE lors de la réunion du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sûreté nucléaire – 8 octobre 2009

Intervention de Pierre BEREST, CNE.

Je remercie le Haut comité et le président Revol de m'avoir donné l'occasion d'évoquer la position de la CNE sur le problème de la réversibilité.

1. Rôle de la CNE

La CNE, ou Commission Nationale d'Evaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et déchets radioactifs, a été créée par la loi de 1991 et renouvelée par la loi de 2006. Sa tâche principale est, après audition des acteurs de la loi, de remettre au mois de juin de chaque année au Parlement, plus précisément à l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, un rapport évaluant les études et recherches dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs.

2. Fonctionnement de la CNE

La CNE ne communique donc oralement qu'à la suite de la rédaction de ses rapports écrits, qui sont adoptés à l'unanimité. Cette règle m'a créé une difficulté. Le dernier texte de la CNE consacré spécifiquement à la réversibilité date en effet de 1998. Le débat sur la réversibilité qui était en cours à l'époque a été tranché depuis par la loi de 2006 : le stockage profond doit être réversible. J'ai pensé néanmoins qu'un rappel des positions de 1998 de la CNE permettrait de mesurer les évolutions survenues et peut-être aussi de rappeler quelques principes généraux qui, à mon avis, n'ont pas vieilli.

3. Les deux dimensions de la réversibilité

On convient aujourd'hui que la réversibilité recouvre deux notions distinctes, l'une technique, l'autre plus organisationnelle ou politique. Je commence par la seconde notion qui concerne la chronologie des choix à effectuer. La réversibilité consiste, dans cette acception, à définir une succession d'étapes à l'occasion de chacune desquelles on peut décider de :

- Passer à l'étape suivante ;
- Faire une pause ;
- Revenir en arrière.

Cette seconde notion n'avait pas encore complètement fait son chemin en 1998.

La première notion, était plus clairement perçue en 1998 : Il s'agit de « pouvoir reprendre les colis de façon sûre avec un avantage net pour la société ».

Cette première notion est aussi appelée maintenant récupérabilité des colis de déchets.

4. Arguments en faveur de la réversibilité

Comment étaient analysés à l'époque les arguments en faveur de la réversibilité ? La CNE en voyait quatre :

- l'éventualité de progrès scientifiques et techniques, notamment des avancées possibles dans le domaine de la transmutation. On discutait même de différer la vitrification des déchets HAVL, pour que leur conditionnement reste plus longtemps réversible.
- des évolutions économiques : un stockage constituerait à terme une remarquable réserve des métaux de ce qu'on appelle la mine du platine, ruthénium, rhodium et palladium ; et peut-être aussi une réserve d'uranium et de plutonium. puisqu'on n'avait pas encore complètement exclu à l'époque de stocker en France des combustibles usés non retraités.

- la sûreté, c'est-à-dire le risque d'une mauvaise appréciation des risques, ou un défaut de conception du stockage – on avait alors à l'esprit l'exemple du stockage de la Manche. Le rapport Turpin avait montré qu'on y avait fautivement accepté des colis hors normes mais que, la récupérabilité n'ayant pas été prévue dès l'origine, l'analyse coûts-avantages conduisait à ne pas tenter de reprendre les colis.
- l'éthique, relative à la liberté de choix des générations futures.

5. Les autres options

La discussion était d'autant plus vive qu'à l'époque le principe du stockage profond réversible n'était pas adopté ; on envisageait en fait trois options :

- le stockage profond réversible, bien entendu, mais aussi ;
- le stockage profond irréversible, solution de référence des années 80, et ;
- l'entreposage de longue durée en surface ou à faible profondeur, très réversible, mais qui laisse tout entières aux générations futures des charges techniques et financières sans qu'elles n'aient en rien bénéficié des avantages qui ont créé ces charges.

6. Un argument important pour la CNE

La CNE a donné en 1998 un grand poids à un argument en faveur du stockage réversible. Cet argument ne ressortit pas au registre technique ou scientifique :

- Un préalable à toute solution définitive est que le public soit convaincu de la qualité et de la robustesse du stockage ;
- D'un point de vue scientifique et technique, cette démonstration exige du temps ;
- De ce point de vue, la réversibilité organise les conditions du recul nécessaire et d'un retour systématique d'expérience.

7. Des objectifs partiellement contradictoires

La CNE a aussi analysé les objectifs que doit satisfaire un stockage de déchets réversibles. Ils sont au moins de trois :

- la réversibilité, bien entendu ;
- la sécurité des travailleurs et du public pendant l'exploitation et ;
- la sûreté à long terme.

8. Un exemple d'antinomie possible des objectifs de sûreté et de réversibilité.

Il faut reconnaître que ces trois objectifs sont, pour une part, potentiellement contradictoires. La couche du Callovo-Oxfordien en Meuse Haute-Marne, en place depuis 150 millions d'années, est une formation géologiquement paisible. Le projet français, au moins implicitement, est inspiré par un principe de prudence qui veut que la perturbation apportée par le stockage soit, à l'intérieur de ce que permettent les lois de la physique, la moins intense et la plus brève possible. Par exemple, au contraire des idées directrices qui inspirent le projet de Yucca Mountain aux USA ou le projet de stockage dans le sel en Allemagne, le concept français recherche une charge thermique modérée et limite les températures maximales en dessous de 100°C, pour rester au plus près des conditions thermodynamiques les plus banales et donc les mieux connues. La limitation des perturbations, en intensité et dans le temps, est donc un principe organisateur.

Elle peut donc s'opposer partiellement au principe de réversibilité. Des galeries et alvéoles laissées très longtemps ouvertes, cela signifie un milieu plus longtemps rendu oxydant, alors que son caractère naturellement réducteur est un atout majeur d'une couche d'argilite ; plus longtemps soumis à la ventilation, donc à la désaturation du massif, alors que le retour à la resaturation sera long, compte-tenu de la faible perméabilité de l'argilite ; plus longtemps siège de déformations et d'endommagement de la roche qui laisseront une cicatrice longue à résorber ; plus longtemps soumis aux aléas politiques et sociaux, et, à l'extrême, à la désorganisation d'une société devenue impuissante à gérer un ouvrage qu'on aurait trop tardé à fermer définitivement.

9. Quelques principes généraux

Ces contradictions ne sont sans doute pas insurmontables. Elles demandent que quelques principes soient retenus :

- Le premier est que la réversibilité soit progressive et qu'elle ait un terme, peut être révisable, sans doute éloigné dans le futur, mais dont le principe est défini dès l'origine. Un stockage profond réversible doit avoir d'emblée vocation à être fermé un jour. En ce sens il est essentiellement différent d'un entreposage profond de longue durée.
- Le second principe est qu'une hiérarchie des objectifs soit clairement présente à l'esprit. Une fois assurée, pendant la période d'exploitation du stockage, la sécurité des travailleurs et du public à un niveau au moins égal à celui que l'on assure dans les installations nucléaires classiques, le principe général doit être que la sûreté à long terme d'un stockage réversible ne peut être d'un niveau moindre que celle d'un stockage irréversible. La sûreté doit avoir le dernier mot.
- Le troisième principe est que l'objectif premier du stockage réversible est d'assurer une démonstration de la qualité et de la robustesse des choix effectués, pour en tenir le public informé.

10. Evolutions récentes

Je voudrais tout de même, après ce panorama d'une prise de position ancienne de la CNE, évoquer un point de vue plus récent. La CNE a observé les évolutions plus récentes. Elle constate notamment que :

- L'Andra a incontestablement pris en compte les termes de la loi de 2006.
- L'Andra a activement proposé à l'échelle internationale, notamment au sein de l'AEN, d'établir un langage et un système de concepts communs et de définir une échelle de réversibilité.
- confrontée à une demande sociale diffuse, donc imparfaitement formulée, l'Andra s'efforce de renforcer son expertise socio-économique et de former ses cadres au dialogue avec les parties prenantes.
- la chronologie retenue, et notamment la discussion des conditions de la réversibilité par le Parlement en 2016, après l'examen de l'autorisation de création d'un stockage, conduit l'Andra à proposer des solutions à un problème qui ne sera vraiment défini qu'une fois ses propositions formulées et évaluées, ce qui n'est pas une situation complètement confortable.
- une analyse approfondie de l'antinomie entre réversibilité et sûreté, en exploitation et à long terme est requise. Elle ne doit pas seulement être formulée en termes généraux. La discussion porte sur un ensemble de points techniques qui relèvent de l'architecture du stockage, des méthodes de creusement, du détail de l'agencement des alvéoles, des techniques de manutention et de façon générale de l'exploitation du stockage, des méthodes de surveillance ; et, sur un autre plan, de l'articulation avec le contrôle de l'installation nucléaire de base et de la poursuite de consultations avec les parties prenantes, notamment locales. L'Andra conduit une révision systématique des options retenues dans le Dossier de 2005 dans un souci d'amélioration des coûts et de recherche d'une simplicité accrue et d'une amélioration des performances. La CNE, qui craignait que les options techniques ne soient prématurément figées, approuve cet effort de révision.
- Mais elle approuve aussi fortement que chaque modification envisagée fasse l'objet de calculs qui en établissent les conséquences du point de vue de la sûreté.

J'en prendrai deux exemples.

La conception du stockage proposée en 2005 par l'Andra était arborescente. Depuis les puits d'accès, disposés quelque peu à l'écart, le réseau des galeries conduisait à des alvéoles borgnes, c'est-à-dire des galeries en cul-de-sac où étaient placés les colis. L'Andra étudie maintenant des alvéoles ouvertes en leurs deux extrémités, ce qui facilite grandement les opérations de ventilation et la récupérabilité. Mais le système peut y perdre de sa robustesse du point de vue des écoulements possibles de fluides dans le stockage. C'est une évolution importante et la CNE demande que ses implications soient soigneusement évaluées.

La récupérabilité implique qu'un certain jeu soit laissé entre les colis de déchets vitrifiés et le fourreau métallique horizontal d'une quarantaine de mètres de long dans lesquels ils sont glissés.

Il faut que ce jeu subsiste pendant la période de réversibilité, malgré la poussée des terrains qui risque d'ovaliser l'anneau métallique qui protège les colis. Une telle ovalisation rendrait difficile le retrait des colis. Les calculs de mécanique des roches qui permettent de prévoir cette évolution pour une durée de l'ordre du siècle ont semblé à la CNE insuffisamment mûrs ; c'est un point sur lequel elle a attiré l'attention dans son dernier rapport.

11. Conclusions.

Je terminerai par un rappel des trois idées auxquelles la CNE est, à ce stade, attachée.

La 1ère est qu'un stockage réversible doit néanmoins être conçu pour être fermé à terme.

La 2ème est qu'en cas de conflit entre les objectifs, il faut toujours donner à la sûreté le dernier mot.

La 3ème est que la réversibilité est faite pour assurer une démonstration de la qualité et de la robustesse des choix effectués, afin d'en tenir le public informé et capable d'influer sur les choix à effectuer.

Annexe 4 : **Projet de rapport « La réversibilité *pratique* du point de vue des acteurs du territoire »**

La réversibilité *pratique* du point de vue des acteurs du territoire

Propositions des acteurs territoriaux
du groupe Cowam In Practice France

Chantal Rigal,
Présidente du Groupe CIP France, ANCLI GPMDR, CLI de Saclay

avec

Jean-Claude Autret
Patrick Broggi
Laetitia Colon, CLIS de Bure
Roland Corrier, CLIS de Bure
Jean Coudry, CLIS de Bure
Jean-Luc Debourdeau, CLIS de Bure
Anne-Marie Duchemin, Pays du Cotentin
Jean-Pierre Dupont, Pays du Cotentin
Robert Fernbach, CLIS de Bure
André Guillemette, ACRO
Benoit Jaquet, CLIS de Bure
Marie Kirchner, Pays du Cotentin
Olivier Laffitte, CSPI La Hague, ANCLI
Patrick Lerendu, maire de Flottemanville
Jean-Paul Lheritier, CLIS de Bure
Jean-Marie Malingreau, CLIS de Bure
Pierre Savaton, Université de Caen

Novembre 2008 - Projet

La réversibilité est inscrite dans la loi de 2006 sur la gestion durable des matières et déchets radioactifs comme suit : « Le stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs est le stockage de ces substances dans une installation souterraine spécialement aménagée à cet effet, dans le respect du principe de réversibilité. » (art. 5) ; « le Gouvernement présente 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'Etat, pris après enquête publique. (...) L'autorisation fixe la durée minimale pendant laquelle, à titre de précaution, la réversibilité du stockage doit être assurée. Cette durée ne peut être inférieure à cent ans. » (art. 12)

Les acteurs du territoire sont concernés à double titre par la réversibilité.

« De par leur mission statutaire, les Commissions et Comités Locaux exercent un rôle de vigilance, et pourront veiller à la réversibilité, c'est-à-dire au maintien d'une capacité de choix entre 1. poursuite d'un stockage réversible, 2. retrait des colis, et 3. fermeture du stockage. Ce suivi concerne tant les aspects techniques, que les dimensions juridiques, décisionnelles et financières associées à la réversibilité.

« D'autre part, les acteurs du territoire soulèvent la question de la préparation du dispositif de gouvernance de la réversibilité dans les 5 à 8 ans qui viennent. Quelle procédure pour élaborer ce dispositif? Quelle contribution des citoyens? Quelle prise en compte dans les décisions ?

Les échanges et discussions sur la réversibilité engagés par le groupe pluraliste *Cowam In Practice France* ont permis de construire une compréhension commune des enjeux et des questions associées à cette notion. L'ANCLI a souhaité élargir la contribution des acteurs du territoire, et a organisé deux réunions territoriales en mai-juin 2008 (Bar le Duc, Flottemanville-Hague), ainsi qu'une réunion inter-territoriale en septembre 2008. Ces sessions ont enrichi la réflexion du groupe français en apportant un retour d'expérience sur deux éléments significatifs : les réflexions du CLIS en matière de réversibilité, le retour d'expérience du fonctionnement du CSM. Sur cette base, les participants des territoires de la Hague et de Meuse-Haute Marne ont également identifié un certain nombre de propositions.

Dans son avis récent sur le suivi radioécologique des eaux autour des installations nucléaires et sur le gestion des anciens sites d'entreposage de déchets radioactifs (avis du 6 novembre 2007, www.hctisn.fr), le Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire (HCTISN) souligne le rôle essentiel des CLI dans le mouvement de progrès continu de la gestion des sites nucléaires.

1. L'obligation de réversibilité : une opportunité pour suivre et améliorer

Pour les acteurs du territoire, la réversibilité introduit un espace essentiel pour **maintenir une capacité de choix** entre les trois options de gestion (poursuite du stockage réversible, retrait des colis, fermeture du stockage) et **influer sur l'adaptation** du système de gestion **au cours du temps**.

Pour construire une **réversibilité pratique** qui soit opérationnelle localement, les acteurs du territoire estiment qu'il est important de négocier maintenant **des processus de gouvernance où les acteurs locaux ont leur place**.

Le stockage réversible doit permettre dans un premier temps de **suivre et vérifier** ce qui est mis dans le site – **l'inventaire** doit être partagé et discuté avec les acteurs des territoires, et apporter les garanties de fiabilité et de confiance nécessaires aux yeux de ces acteurs.

La réversibilité est également une opportunité pour **s'assurer que la sûreté est maintenue**. De manière plus générale, il est ainsi possible de **vérifier la viabilité** des modes de gestion des déchets considérés, de les **questionner**, et de les **améliorer au cours du temps**. Ces questionnements portent sur les différents piliers de la réversibilité : la surveillance environnementale et sanitaire, le financement, la responsabilité, le suivi local...

La réversibilité n'a de sens que si elle s'accompagne d'un travail de **suivi, de retour d'expérience et d'évaluation** pour être en mesure de faire un choix informé entre les trois options de gestion. Au travers de ce travail de suivi, la société civile pourra **se former**, et **maintenir un regard critique et précautionneux sur les hypothèses retenues**, de manière à faire **prendre en compte les préoccupations éthiques des populations locales** dans le processus de décision. Les acteurs du territoire contribuent à organiser le retour d'expérience dans cette perspective.

2. La préparation de la réversibilité

Les acteurs territoriaux souhaitent que la période d'ici 2015 soit une opportunité pour préparer la réversibilité. Ils souhaitent s'intéresser tant aux aspects techniques, qu'au dispositif large de gouvernance qui encadrera la réversibilité, et traduira ce concept en une réalité pratique, capable d'assurer techniquement, juridiquement, financièrement le maintien d'une capacité de choix.

Dans cette perspective, les acteurs du territoire pourront proposer leur propre vision de la réversibilité pratique, et contribuer aux réflexions conduites par les différents acteurs responsables de l'élaboration des concepts (techniques et autres) de la réversibilité.

Une des préoccupations majeures est de s'assurer que le dispositif technique est en adéquation avec le cadre de gouvernance de la réversibilité. Cela suppose un dialogue continu entre les différents acteurs responsables de la mise en œuvre pratique de la réversibilité dès maintenant, sans attendre 2015.

Les acteurs locaux engagés dans le groupe français CIP ont conduit un retour d'expérience d'une part sur les réflexions du CLIS en matière de réversibilité, et d'autre part sur le CSM. Le fonctionnement de cette installation couvre une période de 40 ans. Il fait l'objet d'un suivi constant par l'opérateur, et l'autorité de sûreté. Un bilan approfondi a été réalisé en 1996 avec la Commission Turpin. Par ailleurs, les acteurs associatifs locaux comme l'ACRO observent de près ce centre et effectuent leurs propres mesures. Ce suivi met en évidence un certain

nombre de questions concernant le temps long qui sont particulièrement pertinentes pour une réflexion générique sur la réversibilité (construction et mémoire de l'inventaire, surveillance de l'environnement et du site,...). Pour les Commissions et Comités Locaux, ces retours d'expériences sont des outils très utiles pour mieux comprendre les enjeux et conditions pratiques de la réversibilité. Le partage d'autres cas est envisagé sur des expériences pertinentes de réussite ou de difficultés. On songe notamment aux cas néerlandais ou allemand (Habog, Ässe...).

L'ANCLI souhaite faciliter les échanges et retours d'expérience entre territoires concernés par la gestion des déchets en France, et plus largement en Europe. L'échange entre territoires doit permettre aux acteurs locaux de s'informer mutuellement à partir de leurs préoccupations, et d'établir leur point de vue et contribution. Il doit se prolonger par un dialogue avec les autres parties prenantes : exploitants, et autres acteurs institutionnels nationaux, pour instruire les différents aspects de la gouvernance des déchets:

- Le processus de décision jusqu'à la fin de la période de réversibilité
- L'inventaire des déchets
- Le programme de surveillance
- L'évaluation des coûts et le suivi de la gestion des fonds
- La mémoire et la transmission intergénérationnelle

L'analyse et les propositions des Commissions et Comités Locaux sont exposées sur chacun de ces aspects dans les sections qui suivent.

3. Processus de décision jusqu'à la fin de la période de réversibilité

Dans son avis du 12 octobre 2006, le CLIS de Bure a souhaité qu'une attention particulière soit portée à l'étude des conditions de réversibilité, et précisé que le point de départ devrait être la date de fin d'exploitation d'un éventuel stockage et non celle de son autorisation. Ce point de vue a été confirmé lors des réunions territoriales et inter-territoriales organisées par l'ANCLI.

La mise en œuvre de la réversibilité implique des rendez-vous réguliers entre les différents acteurs concernés, y compris la société civile au plan local et national. Ces rendez-vous doivent permettre de vérifier que la capacité de choix entre les trois options (poursuite du stockage réversible, retrait des colis, fermeture du stockage) est maintenue de manière pratique, c'est-à-dire que l'on est en mesure tant sur le plan technique, que financier, ou juridique de faire un choix autant que possible non contraint entre ces options.

Les Commissions et Comités Locaux souhaitent prendre une part active dans le suivi de ce dispositif de gouvernance. Ils veilleront à ce que les ressources juridiques, financières, et techniques soient entretenues et mises à jour de manière régulière pour maintenir une réelle capacité de choix. Par ailleurs, elles participeront au débat lorsqu'un choix entre les trois options sera mis à l'agenda.

L'expertise, support de la décision

Dans cette perspective, les Commissions et Comités Locaux soulignent l'importance de l'accès à l'expertise et à la formation. Les citoyens doivent avoir accès aux données produites par les exploitants et les experts publics. D'autres modalités d'expertise doivent être mobilisées pour instruire les questions soulevées par la réversibilité. Les Commissions et Comités Locaux pourront ainsi mener des contre-expertises, ou des expertises complémentaires. Des expertises pluralistes devront être réalisées sur les questions marquées par des divergences ou des incertitudes fortes.

De même que les enjeux de la réversibilité ne sont pas uniquement techniques, les expertises mobilisées devront couvrir un large champ de compétences (juridique, éthique, financier,...).

Le rôle des Commissions et Comités Locaux sur le moyen-long terme

Les Commissions et Comités Locaux souhaitent engager une réflexion sur leur rôle spécifique dans le suivi de la réversibilité à moyen et long terme. La Commission Turpin avait déjà souligné que sur les déchets le rôle des Commissions Locales devait être renforcé en raison du temps long des installations considérées. « *La Commission devra non seulement être informée, mais aussi donner son avis (...). Il ne s'agit pas de dessaisir les autorités administratives de leurs responsabilités. In fine, ce sont elles qui acceptent ou non les propositions de l'ANDRA. Il s'agit d'obliger à un dialogue. En effet, nous sommes dans un cas tout à fait illustratif. La présence des déchets veut dire la présence de polluants, et donc, non pas tant une menace qu'une contrainte que la population devra assumer pendant une très longue période. Les autorités devront tenir compte de l'avis de cette commission. Elles pourront ne pas la suivre, mais auront alors à s'en expliquer.* » De quelle manière les Commissions et Comités Locaux peuvent-ils suivre la mise en œuvre de la réversibilité, d'une génération à l'autre ? Quels dispositifs et points de rendez-vous assurent la prise en compte de leur avis ?

Quelle organisation du territoire sur les questions de risque et de développement ?

Le retour d'expérience réalisé entre acteurs de Meuse-Haute Marne et du Nord Cotentin a mis en avant la fragilité de la participation des citoyens sur la question des déchets. Plus que sur tout autre sujet, le fait même de porter un regard citoyen vigilant est souvent perçu comme une attitude de défiance contre tout projet de gestion des déchets. En miroir, l'attention portée aux projets de développement qui accompagnent l'implantation d'un site est analysée comme un signe de confiance aveugle. Ces raccourcis et ce divorce entre logique de développement et logique de vigilance sont contre-productifs, et fragilisent plus encore la participation des citoyens locaux qui doivent pouvoir de manière légitime contribuer aux réflexions sur l'avenir de leur territoire, et s'intéresser à tous les aspects associés à un projet d'installation. Les Commissions et Comités Locaux proposent que soit conduite une réflexion sur les conditions d'une bonne implication du territoire combinant développement et capacité de vigilance.

4. Dispositif de contrôle et de suivi de l'inventaire

Quelles garanties et durabilité offre l'inventaire ? Une claire distinction des responsabilités entre le producteur de déchet, l'opérateur du centre de gestion, et l'autorité de contrôle renforce la qualité de l'inventaire. L'histoire du CSM a montré l'importance que l'inventaire soit déclaré et contrôlé par des instances différentes. L'inventaire gagne en fiabilité et en transparence.

Dans la mesure où ces déchets seront sur leur territoire sur le très long terme, il est nécessaire pour les acteurs locaux de savoir ce qui entre dans le stockage.

La participation des acteurs du territoire dans le contrôle et le suivi de l'inventaire ne se substitue pas aux responsabilités respectives du producteur, de l'opérateur et du contrôleur, établies par les lois de juin 2006 sur la transparence et la sûreté nucléaire, et sur la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

Ce suivi renforcera la durabilité de la mémoire sur le site et ce qu'il contient, et la confiance que les acteurs locaux peuvent avoir dans le dispositif technique mis en oeuvre pour gérer les déchets.

5. Programme de surveillance du site, de l'environnement et de la santé

Dans le cadre du groupe français de CIP, les participants des Commissions et Comités Locaux ont partagé une compréhension des objectifs et des enjeux d'un programme de surveillance d'une installation de gestion des déchets, dans une perspective de réversibilité.

Ce suivi concerne à la fois l'environnement et l'impact sur la santé, et le site lui-même, en vue du maintien d'une capacité de réversibilité.

Les Commissions et Comités Locaux doivent pouvoir contribuer à la *définition* du programme de surveillance. Ils pourront donner un avis sur les propositions des experts institutionnels, et pourront faire des propositions complémentaires du point de vue des acteurs territoriaux, si elles le jugent nécessaire.

Les Commissions et Comités Locaux suivront la *mise en œuvre* des plans de surveillance. Des rendez-vous réguliers devront être organisés afin qu'ils puissent vérifier que la surveillance est assurée de manière adéquate, et proposer des adaptations le cas échéant. Les Commissions et Comités Locaux pourront également suivre et évaluer les actions correctrices qui auront été mises en place suite à la détection d'un problème.

Le suivi par les Commissions et Comités Locaux est complémentaire des contrôles internes menés par l'opérateur, et des contrôles externes institutionnels (autorités de sûreté, audit externe). Il est conduit pour le territoire, avec des acteurs du territoire, avec l'objectif premier de répondre à leurs questions.

Sur la surveillance du site et de l'environnement comme sur le contrôle et le suivi de l'inventaire, il est intéressant de noter la recommandation récente du HCTISN : *Le Haut comité recommande que les exploitants des anciens sites d'entreposage de déchets radioactifs présentent régulièrement à la CLI l'inventaire des substances entreposées, les résultats de surveillance de leur impact environnemental, les mesures mises en œuvre pour réduire leur impact et les échéanciers associés, et qu'une concertation entre les parties prenantes soit menée autour de ces sites.*

6. Evaluation des coûts et suivi de la gestion des fonds

Les discussions sur la réversibilité dans CIP ont mis en évidence la difficulté d'évaluer le coût de la gestion des déchets. Il est en effet délicat d'évaluer ce qui n'existe encore pour partie qu'au niveau des concepts, ce d'autant plus que la réversibilité introduit une dimension de choix, et donc une part d'inconnu pour notre génération.

La loi de 2006 fournit une structure de financement pour la recherche et la construction et l'exploitation de stockage et d'entreposage. Elle renforce ainsi la transparence des ressources dédiées à la gestion des déchets. Cependant, ces fonds ne couvrent pas le retrait potentiel des colis. Cette absence de financement spécifique pour le retrait entame la crédibilité de la notion de réversibilité.

En dépit - ou en raison même - des inconnues qui entourent les modes de gestion des déchets, il est donc nécessaire de réfléchir dès à présent à l'évaluation des coûts futurs : coût des solutions techniques de stockage, coût de la réversibilité, en particulier coût du retrait, gestion des provisions, etc.

Comment maintenir dans le temps un fonds à l'abri des incertitudes financières? Une fois définie l'enveloppe financière nécessaire pour la gestion des déchets, il convient de s'assurer que les ressources sont bien gérées, maintenues, et adaptées aux circonstances, si de nouveaux besoins se font sentir. Ainsi, les Commissions et Comités Locaux souhaitent aussi s'associer aux réflexions sur les dispositifs de suivi qui permettront de s'assurer de l'adéquation, du bon approvisionnement et de la bonne gestion des fonds. Ils s'assureront que les modalités de financement garantissent une capacité de choix entre les trois options constitutives de la réversibilité (poursuite du stockage réversible, retrait des colis, fermeture du stockage).

En tout état de cause, le coût associé au stockage et à sa réversibilité ne doit pas in fine invalider des éventuelles options alternatives, ni incomber aux territoires d'accueil.

7. Mémoire et transmission intergénérationnelle

La préservation de la mémoire autour du site de stockage est primordiale. De nombreuses réflexions sont menées pour favoriser une transmission de la mémoire de manière passive afin de surmonter une période possible d'oubli. Dans une perspective de réversibilité, les acteurs du territoire insistent sur la nécessité d'une mémoire active, seule capable de maintenir une capacité de maîtrise et de choix d'une génération à l'autre : comment donner du sens à l'information et la mémoire afin que les générations suivantes soient acteurs de la maîtrise du risque ? Comment passer de l'information à la valeur ?

Un des facteurs de maintien d'une mémoire active autour du site est l'existence d'une vie sociale. La vie économique peut-elle être un facteur pour renforcer la capacité de mémoire et de vigilance du territoire ? On a évoqué plus haut le danger d'une polarisation du territoire entre des acteurs porteurs d'une vision uniquement centrée sur les risques, et des acteurs uniquement focalisés sur le développement de la communauté. Une réflexion doit être engagée sur la manière d'intégrer développement et vigilance afin de favoriser une dynamique locale capable de maintenir sur la durée un regard vigilant.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andra (1998) International Workshop on Reversibility, Paris, 25-27 November 1998
- Andra (2001) Dossier 2001 Argile, Rapport de synthèse, Partie A et B
- Andra (2005) Dossier 2005 Argile - Synthèse - Evaluation de la faisabilité du stockage géologique en formation argileuse.
- Andra (2007) Programme d'information et de consultation - La démarche proposée par l'Andra. Rapport Andra n° COM.PE.ACOC.07.0011
- Andra (2008) Réversibilité et sciences sociales - Actes de la Journée d'études du 2 octobre 2008
- Andra (2009a) Inventaire des capacités d'entreposage existantes, état d'avancement des études de concepts d'entreposage, propositions d'options à étudier après 2009 ; Rapport Andra n° C.RP.ADP.08.0038
- Andra (2009b) Options de sûreté du stockage en formation géologique profonde ; Rapport Andra n° C.NT.ASSN.09.0029
- Andra (2009c) Options de conception du stockage en formation géologique profonde ; Rapport Andra n° C.NSY.ASTE.08.0429
- Andra (2009d) Référentiel de connaissances et modèle d'inventaire des colis de déchets à haute activité et à moyenne activité à vie longue ; Rapport Andra n° C.RP.AHVL.09.0114
- Andra (2009e) Colloque interdisciplinaire réversibilité - Actes numériques
- Andra (2009f) Inventaire national des matières et déchets radioactifs - Rapport de synthèse
- ASN (2006) Autorité de sûreté nucléaire, Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (HAVL) menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, et liens avec le PNGDR-MV
- ASN (2008) Autorité de sûreté nucléaire, Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde, version du 12 février 2008
- CNDP (2006) Commission nationale du débat public, 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
- CNE (1998) Commission nationale d'évaluation, Réflexions sur la réversibilité des stockages, juin 1998
- CNE (2005) Commission nationale d'évaluation, Rapport d'évaluation n°11, juin 2005
- HCTISN (2009) Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, compte-rendu de la réunion du 8 octobre 2009
- MEFI-MEDD (2006) Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie - Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Gestion des déchets radioactifs - les suites du débat public.
- OECD (2001) Considering Reversibility and Retrievability in Geological Disposal of Radioactive Waste. NEA Report 3140. Une version française de ce document a été émise en 2002 : La réversibilité et la récupérabilité dans la gestion des déchets radioactifs. Une réflexion à l'échelle internationale. NEA Report 3448
- OECD (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
- OECD (2007) Reversibility and retrievability in geologic disposal of radioactive waste - Taking further the RWMC work in relation to stepwise decision making - A proposal to the RWMC.



AGENCE NATIONALE
POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Centre de Meuse/Haute-Marne
Route départementale 960
BP 9 - 55290 Bure

 **N° Vert 0 805 107 907**
APPEL GRATUIT DEPUIS UN POSTE FIXE

www.andra.fr

