



## Document interne

### Identification

C.NT.AHVL.10.0012

Nom du FDR : HAVL -Argile

Arborescence :

Émetteur	Repère support/secrétaire	Date d'origine	Page
DP/HL			1/40

## Réponses aux questions de la Commission Réversibilité du CLIS transmises le 7 avril 2010

Documents associés :

CE DOCUMENT EST LA PROPRIÉTÉ DE L'ANDRA ET NE PEUT ÊTRE REPRODUIT OU COMMUNIQUÉ SANS SON AUTORISATION

Ind.	Date	Nom/visa du rédacteur	Nom/visa vérificateur	Nom/visa approbateur
A	10/06/10	JN. DUMONT 	JM. HOORELBEKE 	T. LABALETTE 



## Document interne

### Identification

C.NT.AHVL.10.0012

Nom du FDR : HAVL -Argile

Arborescence :

---

Émetteur	Repère support/secrétaire	Date d'origine	Page
DP/HL			1/40

## Réponses aux questions de la Commission Réversibilité du CLIS transmises le 7 avril 2010

Documents associés :

CE DOCUMENT EST LA PROPRIÉTÉ DE L'ANDRA ET NE PEUT ÊTRE REPRODUIT OU COMMUNIQUÉ SANS SON AUTORISATION

---

Ind.	Date	Nom/visa du rédacteur	Nom/visa vérificateur	Nom/visa approbateur
A	.....	JN. DUMONT	JM. HOORELBEKE	T. LABALETTE



**Identification**  
C.NT.AHVL.10.0012

**Page** 2/40  
**Rév.** 1

ANDRA.001.F - page 2/2

## Révisions

Ind.	Date	Modifications
A	Cf. page 1	Emission initiale

# SOMMAIRE

<b>Sommaire</b>	<b>3</b>
<b>1. Objet</b>	<b>4</b>
<b>2. Motivations de la réversibilité</b>	<b>5</b>
<b>3. Volume des déchets</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b> <i>Présentation du MID</i>	<b>9</b>
<b>3.2</b> <i>Scénarios</i>	<b>10</b>
<b>3.3</b> <i>Les déchets militaires (localisation, volumes, type de retraitement)</i>	<b>10</b>
3.3.1 Déchets rattachés aux HA	10
3.3.2 Déchets MAVL	11
<b>3.4</b> <i>Les déchets produits par les réacteurs REP EDF, les réacteurs expérimentaux du CEA, l'EPR en construction et le réacteur expérimental de fusion ITER</i>	<b>11</b>
3.4.1 Déchets HA	12
3.4.2 Déchets MAVL	12
<b>3.5</b> <i>Conséquences d'une prolongation de la durée d'exploitation des réacteurs</i>	<b>13</b>
<b>3.6</b> <i>Volumes de déchets qui pourraient être stockés au fur et à mesure du temps (et en fonction du refroidissement)</i>	<b>13</b>
<b>4. Réversibilité et fermeture</b>	<b>16</b>
<b>4.1</b> <i>Exploitation, durée de réversibilité, oubli</i>	<b>16</b>
<b>4.2</b> <i>Possibilité d'une réévaluation régulière des modalités de réversibilité</i>	<b>18</b>
<b>4.3</b> <i>Récupération après fermeture, méthodes minières, moyens à mettre en œuvre</i>	<b>19</b>
<b>4.4</b> <i>Perspectives d'évolution de l'inventaire de déchets (transmutation, autres traitements, nouvelles générations de réacteurs et d'usines)</i>	<b>24</b>
4.4.1 La vitrification des déchets HA	25
4.4.2 Possibilités offertes par la transmutation	25
4.4.3 Impact de la transmutation sur le stockage	26
4.4.4 Prise en compte des futures générations de réacteurs et d'usines	27
<b>5. Comportement des colis et du stockage</b>	<b>28</b>
<b>5.1</b> <i>Déchets HA vitrifiés</i>	<b>28</b>
<b>5.2</b> <i>Bétons</i>	<b>34</b>
<b>6. Surveillance</b>	<b>35</b>
<b>6.1</b> <i>Système de surveillance</i>	<b>35</b>
<b>6.2</b> <i>Transmissions sans fil</i>	<b>36</b>
<b>6.3</b> <i>Contrôle des colis en surface</i>	<b>36</b>
<b>6.4</b> <i>Surveillance et intervention</i>	<b>38</b>
<b>7. Mémoire du site</b>	<b>39</b>

## 1. **Objet**

Cette note fournit les réponses techniques aux questions et observations transmises à l'Andra par le Président de la Commission réversibilité du CLIS le 7 avril 2010. Elle couvre aussi les questions préparées par Monsieur Corrier sur l'inventaire des déchets et la réversibilité, transmises par le CLIS à l'Andra le 8 avril 2010. Elle formalise et complète les éléments présentés lors de la réunion entre la Commission et l'Andra tenue le 21 avril 2010 au Centre de Meuse/Haute-Marne.

Dans la suite, les questions et observations sont traitées successivement dans l'ordre de la demande de la Commission. Elles se rapportent aux thèmes suivants :

- motivations de la réversibilité,
- volume des déchets,
- réversibilité et fermeture,
- comportement des colis et du stockage,
- surveillance,
- mémoire du site.

L'Andra se tient à la disposition de la Commission pour lui commenter les éléments contenus dans cette note.

## 2. Motivations de la réversibilité

### Commentaires ou questions de la Commission

« Avant de retirer les éléments de réflexion des réponses apportées par l'Andra aux questions de la commission, il convient de rappeler que la première interrogation concerne la motivation de la réversibilité : il peut s'agir de reprendre des colis pour les reconditionner ou pour recycler des produits contenus dans les colis et qui seraient devenus recyclables (donc tenir compte des progrès scientifiques et techniques), ou d'intervenir en cas de dysfonctionnement d'un stockage (ce qui pose alors la question des procédures mises en œuvre pour une éventuelle décontamination et de la sécurité des intervenants). Dans ces trois cas, la réversibilité est assimilable à la récupérabilité (notion technique, concrète), mais elle suppose que les choix techniques antérieurs et ceux à venir en laissent la possibilité (cf. la question ci-dessous relative à la vitrification). Il peut également s'agir d'un élément favorisant l'acceptabilité du projet de stockage, et cela devient une notion politique et abstraite. »

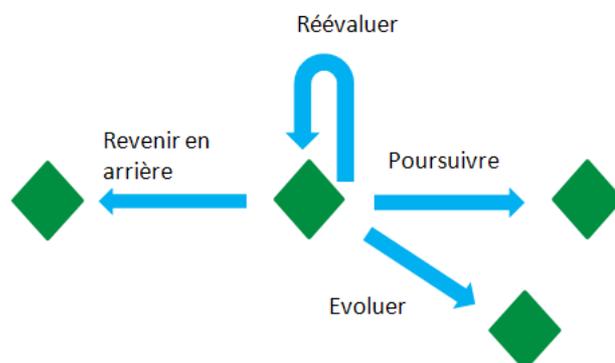
### Réponses ou commentaires de l'Andra

L'Andra considère que la récupérabilité est une composante de la réversibilité. Cette récupérabilité peut répondre à différents types de motivations : 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. En plus de la récupérabilité, l'Andra propose d'intégrer d'autres notions concrètes : flexibilité, progressivité de développement et progressivité de fermeture en procédant par étapes. Les concepts techniques des différentes alvéoles de stockage ont été élaborés pour ne pas être obligés de les fermer immédiatement après la mise en place des colis. Cela offre des possibilités supplémentaires de points de rendez-vous permettant de contrôler le déroulement du processus de stockage, et ménager du temps pour les décisions.

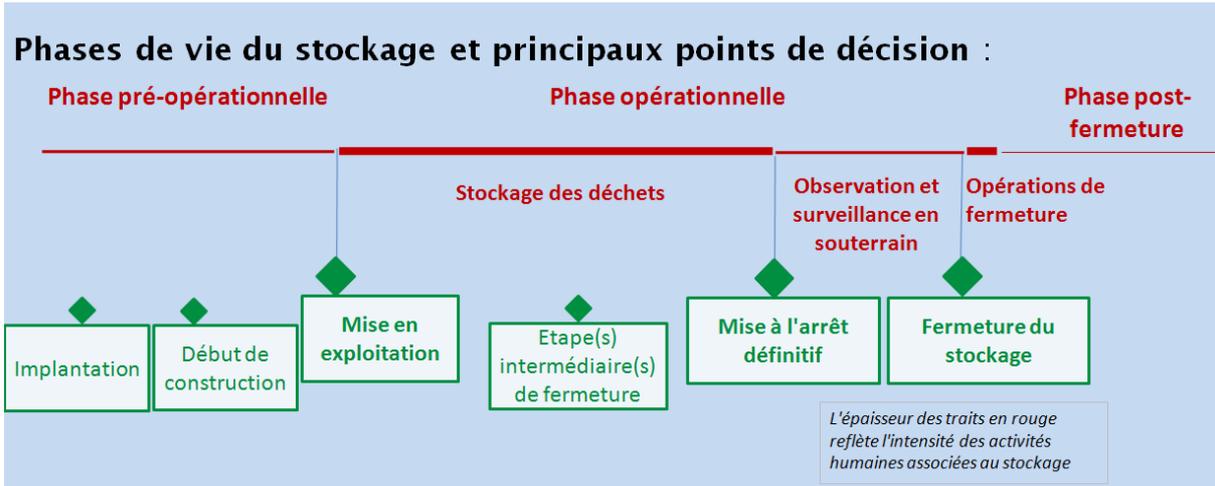
Ainsi, l'Andra propose que la réversibilité se résume comme suit :

**Réversibilité = récupérabilité + autres flexibilités (capacité d'action, capacité d'évolution)**

La notion de réversibilité est liée au processus de décision, comme l'illustre le schéma ci-dessous. A chaque point de décision, la réversibilité ouvre les choix possibles : continuer suivant le schéma initialement prévu, réévaluer (se donner du temps pour décider), revenir en arrière (ce qui peut signifier retirer les colis de déchets, mais pas uniquement) ou poursuivre dans une direction différente (faire évoluer le processus).



Au cours de la vie du stockage, une succession de décisions auront ainsi à être prises. La figure suivante illustre les principales étapes de la vie du stockage, et les principaux points de décision d'ici à la fermeture du stockage, qui constitueront des rendez-vous privilégiés avec les parties prenantes.



Tant qu'un ouvrage de stockage n'est pas fermé, les opérations de récupération éventuelle sont simplifiées. Cela n'empêche pas la récupération après fermeture, mais celle-ci devient plus complexe. L'échelle de récupérabilité en cours d'élaboration sous l'égide de l'Agence de l'énergie nucléaire de l'OCDE montre la complexification progressive d'une récupération des colis au fur et à mesure de la progression de la fermeture, en identifiant des niveaux successifs de récupérabilité.

Pour rendre encore plus claire la distinction réversibilité – récupérabilité, on peut ajouter que :

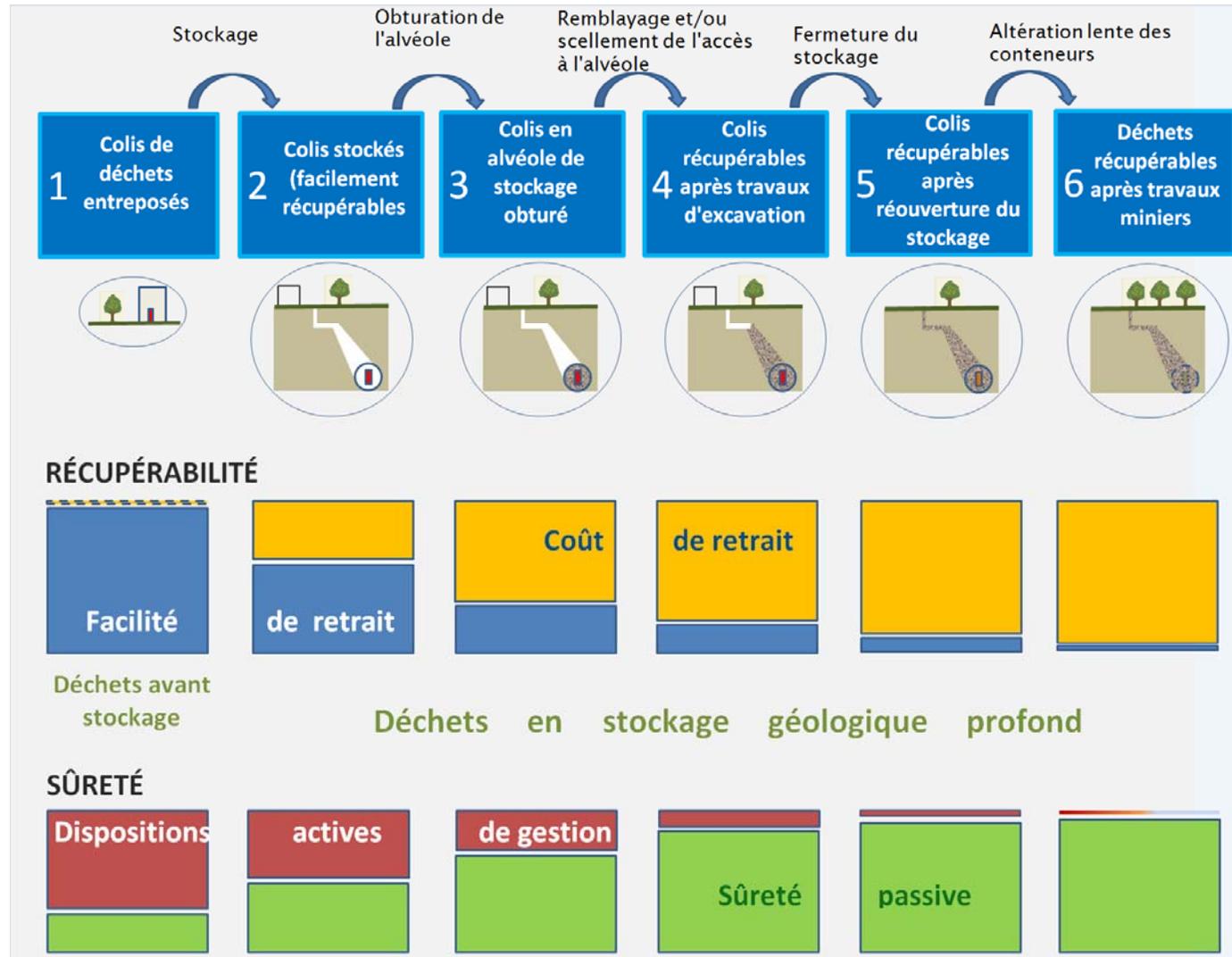
- au regard de la loi du 28 juin 2006 (et du Guide de Sûreté de 2008), la réversibilité s'entend jusqu'à la fermeture du stockage :
  - ✓ une loi future définira les conditions de réversibilité à satisfaire pour autoriser la création du stockage,
  - ✓ seule une nouvelle loi pourra autoriser la fermeture du stockage.

La loi de 2016 définira donc les conditions de réversibilité à respecter jusqu'à la fermeture du stockage.

- La récupérabilité se poursuit au-delà de la fermeture, même si elle se complexifie encore :
  - ✓ au niveau 5 de l'échelle de récupérabilité (cf. tableau et figure ci-après) : l'intégrité des colis est connue, on peut s'appuyer sur cette connaissance pour définir des moyens de retrait adaptés,
  - ✓ au niveau 6 de l'échelle : l'intégrité des colis ne peut plus être garantie, mais les déchets restent localisés à un endroit précis, on peut les reprendre.

Niveaux dans l'échelle de récupérabilité		Éléments 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

*Projet d'échelle internationale de récupérabilité (OCDE/Agence de l'Energie Nucléaire) : niveaux*



Projet d'échelle internationale de récupérabilité : illustration des niveaux de récupérabilité, en termes de position et d'état des colis de déchets, de facilité et de coût de retrait, de dispositions actives de gestion et de mise en place des composants de sûreté passive

### 3. Volume des déchets

#### Commentaires ou questions de la Commission

« Volume des déchets destinés au stockage géologique profond : 12 000 m<sup>3</sup> de colis de déchets haute activité-vie longue (HAVL), 108 000 m<sup>3</sup> de colis de déchets moyenne activité-vie longue (MAVL). Ces chiffres correspondent à l'estimation des volumes de déchets déjà produits ou qui seront produits d'ici 2050 par le parc de centrales actuel et les EPR dont la construction est décidée.

L'Andra s'est engagée à présenter ces informations sous forme graphique (volumes/temps) afin d'avoir une lecture simple et prospective. Des informations complémentaires, notamment sur les colis de MAVL, seront nécessaires, de même qu'une présentation du modèle d'inventaire et de dimensionnement que l'Andra devait élaborer pour fin 2009.

Volumes des déchets existants ou engagés (avant et après retraitement, notamment vitrification) en fonction du temps (2010 - 2020,...)

Les déchets militaires : localisation, volumes, type de retraitement

Volumes des déchets futurs : parc REP de EDF, réacteurs expérimentaux du CEA, les EPR en construction et le réacteur expérimental de fusion ITER)

Conséquences de la prolongation de la durée d'exploitation des réacteurs si elle est prolongée jusqu'à 50, voire 60 ans

Volumes de déchets qui pourraient être stockés au fur et à mesure du temps (et en fonction du refroidissement ? »

#### Réponses ou commentaires de l'Andra

### 3.1 Présentation du MID

Le Modèle d'Inventaire de Dimensionnement (MID) identifie les catégories de déchets et leurs volumes pour étudier le dimensionnement du projet de centre de stockage.

L'établissement du MID se fonde sur des données détaillées rassemblées par les exploitants nucléaires (EDF, AREVA, CEA) : inventaires et prévisions de production de déchets (natures, quantités), hypothèses de conditionnement, description des familles de déchets ou de colis. L'Andra y ajoute des marges pour tenir compte des incertitudes sur les scénarios de production électronucléaire et de gestion des déchets, sur les caractéristiques des colis et sur leur inventaire. Le MID définit ainsi des données d'entrée prudentes pour le dimensionnement du projet. Depuis 2005, plusieurs évolutions sont intervenues touchant au périmètre des installations nucléaires et des déchets à prendre en compte ainsi qu'aux hypothèses de gestion du parc électronucléaire et de conditionnement des déchets.

**Le MID HA-MAVL inventorie et décrit les colis de déchets pour le dimensionnement et l'évaluation de sûreté du stockage réversible profond.**

**L'Andra établit le MID à partir de données fournies par les exploitants nucléaires et ajoute des marges pour tenir compte des incertitudes sur :**

- ✓ les scénarios
- ✓ les caractéristiques des colis
- ✓ l'acceptabilité de certains déchets dans les autres filières

- » MID 2005 ⇨ Dossier 2005
- » MID 2009, tenu à jour ⇨ Etudes en cours

## 3.2 Scénarios

Le MID comprend des déchets déjà produits et conditionnés, des déchets déjà produits mais restant à conditionner ou reconditionner, des déchets à produire dans l'avenir. Pour les déchets déjà produits mais à conditionner, des hypothèses de conditionnement sont formulées. Pour les déchets à produire, des scénarios possibles de production sont établis.

Un scénario de conditionnement et de production a ainsi été établi par les exploitants nucléaires. Les volumes prévus dans ce scénario correspondent à la meilleure estimation que les exploitants nucléaires sont en mesure de fournir à ce jour, compte tenu des conditionnements envisagés, notamment pour les déchets anciens issus d'opérations de reprise et restant à conditionner. Ces volumes sont cohérents avec les déclarations des exploitants nucléaires qui ont permis d'établir l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs<sup>1</sup> de 2009.

Le scénario des exploitants nucléaires considère le traitement<sup>2</sup> de tous les combustibles nucléaires sortis des réacteurs, sauf certains combustibles civils et militaires en petite quantité. Il adopte l'hypothèse d'un traitement différé des combustibles usés REP MOX et URE ainsi que des combustibles issus du réacteur Superphénix de Creys-Malville aujourd'hui arrêté.

Partant du scénario des exploitants, l'Andra a pris en compte les deux scénarios suivants pour le MID 2009 :

- un scénario de base « SB », avec ajout de quelques marges par rapport au scénario des exploitants nucléaires,
- un scénario de dimensionnement « SD ». Il ajoute au scénario de base, pour certaines familles de déchets, une marge de dimensionnement supplémentaire pour couvrir une plus grande production électrique : allongement éventuel de la durée d'exploitation des réacteurs actuels, aujourd'hui envisagée à 40 ans, création d'EPR supplémentaire.

## 3.3 Les déchets militaires (localisation, volumes, type de retraitement)

### 3.3.1 Déchets rattachés aux HA

Les déchets « CU3 » sont en partie d'origine militaire : certains de ces déchets proviennent de la propulsion navale. Il s'agit de combustibles de réacteurs de la propulsion nucléaire à terre ou embarqués, dont le volume est de 140 m<sup>3</sup>. Ils sont aujourd'hui considérés comme des matières dans l'Inventaire national. Le devenir de ces combustibles devrait faire l'objet d'un dossier d'orientation et d'une décision fin 2010 (prévu par le PNGMDR). S'ils sont traités, les verres HA qui en résulteront seront intégrés aux autres déchets HA vitrifiés produits à La Hague et n'en représenteront qu'une part marginale.

Les combustibles usés des réacteurs Célestin (Marcoule) ne sont plus considérés dans le MID 2009 dans le cadre des CU3, car ils font l'objet d'une hypothèse de traitement (les déchets issus de leur traitement représentent aussi une part marginale des HA).

<sup>1</sup> L'inventaire national couvre l'ensemble des déchets et matières radioactives aujourd'hui présents sur le territoire français et ceux engagés par les installations existantes, quel que soit leur mode de gestion à long terme. Cela comprend non seulement les déchets destinés à un stockage réversible profond, objets du MID, mais aussi ceux stockés en surface et ceux pour lesquels des études sont en cours afin de déterminer une filière de gestion à long terme dans le cadre du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR). Tout en étant cohérentes, les données du MID sont plus détaillées que celles recueillies pour l'Inventaire national publié en 2009. En effet, le MID doit comprendre toutes les informations nécessaires au dimensionnement du projet de stockage réversible profond.

<sup>2</sup> Les termes « traitement » et « retraitement » des combustibles sont utilisés indifféremment pour désigner la séparation d'une part de l'uranium et du plutonium, d'autre part des déchets contenus dans les combustibles nucléaires usés, opération effectuée dans l'usine AREVA de La Hague.

### 3.3.2 Déchets MAVL

Les déchets MAVL des applications militaires proviennent du centre CEA DAM de Valduc (Côte d'Or) : cf. page 69 de l'Inventaire national, tome inventaire géographique. Il existe aussi une petite production au CEA/DAM de Bruyères le Châtel (Essonne, page 164)

Le CEA/DAM de Valduc entrepose les colis de boues et concentrats cimentés MAVL produits de 1984 à 1995 par la station de traitement des effluents liquides du site (famille F2-6-02 de l'Inventaire national). Ils sont conditionnés dans des fûts en acier de 220 litres. On distingue trois types de déchets : les boues issues du cycle de coprécipitation/filtration (90 % des fûts), les concentrats produits par évaporation (8 %) et les mélanges boues-concentrats (2 %). Le hall d'entreposage contient actuellement un volume total de colis MAVL de 81 m<sup>3</sup>.

Le centre CEA de Cadarache a en charge de conditionner certains autres déchets de Valduc : ils rejoignent alors des déchets « civils » du CEA produits à Cadarache, mais aussi à Fontenay-aux-Roses (92) Grenoble (38) Saclay (91), Marcoule (30), pour former la famille F2-5-04 (déchets solides d'exploitation cimentés, faiblement irradiants, en fûts métalliques de 870 litres) : les déchets concernés actuellement à Valduc sont 1 boîte à gants (2 m<sup>3</sup> après conditionnement) et 264 fûts de 100 l de déchets technologiques (11,5 m<sup>3</sup> après conditionnement). Ils représenteront une faible part de la famille F2-5-04 (total en 2030 : 6 000 m<sup>3</sup>).

Enfin le CEA/DAM projette de construire une installation de vitrification sur le site de Valduc pour traiter les effluents très actifs (ETA) qui sont actuellement entreposés sous forme liquide. Les pots de fusion seront placés dans un conteneur en acier inoxydable. Cette production qui commencera après 2020 correspond à la famille F2-6-03. Elle aboutira en 2030 à un volume de 10 m<sup>3</sup> de colis.

Le CEA/DAM de Bruyères le Châtel entrepose actuellement (60 fûts de 100 litres) qui seront aussi conditionnés à Cadarache en fûts métalliques de 870 l (famille F2-5-04, 2,6 m<sup>3</sup> au final).

Pour mémoire, le site de Marcoule a produit des matières utilisées pour les applications militaires. Dans les inventaires, on ne distingue pas les déchets d'exploitation du centre qui y sont reliés.

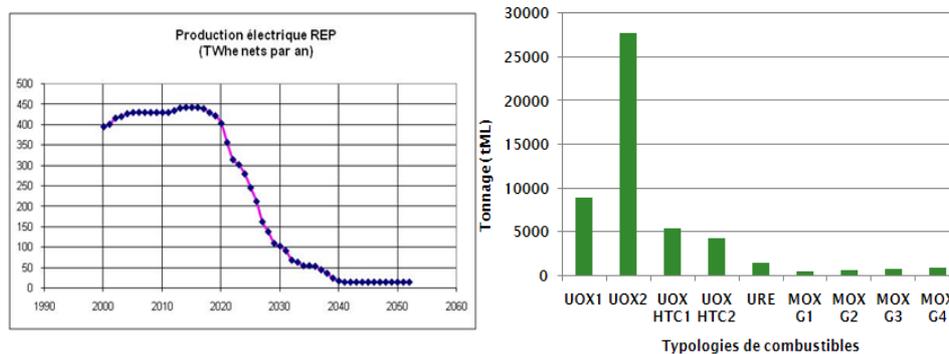
### 3.4 Les déchets produits par les réacteurs REP EDF, les réacteurs expérimentaux du CEA, l'EPR en construction et le réacteur expérimental de fusion ITER

Dans le scénario de base du MID, le parc électronucléaire considéré est constitué des 58 réacteurs à eau pressurisée (REP) en exploitation mis en service entre 1977 et 1999 (34 réacteurs de 900 MWe, 20 réacteurs de 1 300 MWe et 4 réacteurs de 1 450 MWe), et du réacteur EPR de 1 650 MWe en construction (Flamanville 3). La durée d'exploitation prise en référence pour tous les réacteurs, y compris le réacteur EPR, est de quarante ans, après la première divergence. La production électrique nette future est de l'ordre de 430 TWhe/an jusqu'en 2012, puis 443 TWhe/an (+ 13 TWhe apportés par l'EPR) entre 2013 et 2017, date prévisionnelle d'arrêt du premier réacteur 900 MWe. A compter de 2018, la production électrique est supposée décroître avec la cessation d'activité des tranches. Le tonnage final de combustibles nucléaires déchargés avant retraitement serait alors d'environ 51 000 tML<sup>3</sup>.

Ceci est synthétisé par l'encadré suivant. Il est à noter que les déchets générés par l'EPR sont similaires en natures à ceux des REP en exploitation.

<sup>3</sup> tML : tonne de métal lourd, uranium ou plutonium.

- ❑ Périmètre : parc engagé de 58 réacteurs + réacteur EPR (Flamanville 3)
  - ✓ hypothèse : durée d'exploitation des tranches pendant 40 ans (idem MID 2005)
- ❑ Production électrique cumulée : environ 17 000 TWhe nets
- ❑ Prise en compte de combustibles « prospectifs » :
  - ✓ UOX à haut taux de combustion (UOX HTC2)
  - ✓ MOX à nouvelle teneur d'équivalence (MOX NT 2012)
- ❑ Traitement de combustibles non complètement épuisés
  - **Tonnage déchargé cumulé : env. 51 000 tML (MID 2005 : 45 000 tML)**



### 3.4.1 Déchets HA

Dans le scénario de base, le cumul prévisionnel de production électrique du parc des réacteurs à eau pressurisée (EPR inclus, hors contribution antérieure des réacteurs aujourd'hui arrêtés) est d'environ 17 000 TWhe à terminaison (en 2052). Les produits de fission et actinides mineurs extraits des combustibles usés de réacteurs REP/EPR lors du traitement et vitrifiés représentent dans le scénario de base un volume de l'ordre de 8 000 m<sup>3</sup>.

Les « CU3 » non issus d'activité militaire proviennent des réacteurs expérimentaux du CEA, pour un total de 70 m<sup>3</sup> (combustibles usés à base d'uranium métallique, combustibles usés issus du réacteur EL4, combustibles usés issus du réacteur OSIRIS, combustibles expérimentaux issus de divers autres réacteurs).

Les autres combustibles des réacteurs expérimentaux ont été ou seront traités. Comme dans le cas des CU3 militaires, cela représentera une part marginale des déchets HA et MAVL de traitement produits à La Hague.

Enfin, 850 m<sup>3</sup> de déchets HA vitrifiés ont été produits par la première génération de réacteurs électronucléaires UNGG<sup>4</sup> aujourd'hui arrêtée (ces déchets représentent le colis de type C0.3, dont les caractéristiques thermiques particulières sont présentées à la partie « Comportement des colis », § 5.1).

### 3.4.2 Déchets MAVL

Les réacteurs REP/EPR génèrent deux types de déchets MAVL :

- Des déchets MAVL issus du traitement des combustibles usés extraits des réacteurs, conditionnés à La Hague ;
- Des déchets MAVL d'exploitation, qu'EDF prévoit de conditionner sur le site de Bugey.

<sup>4</sup> Uranium Naturel Graphite Gaz

Il est à noter que les anciens réacteurs UNGG ont produit également les deux types de déchets.

Il s'y ajoute les déchets MAVL de fabrication de combustibles MOX, produits historiquement à Cadarache, puis à l'échelle plus industrielle par l'usine Melox de Marcoule ; ceux de Marcoule sont prévus d'être entreposés et conditionnés à La Hague.

L'Inventaire national comptabilise 25 370 m<sup>3</sup> de déchets MAVL qui auront été conditionnés à La Hague en 2030 (dont de l'ordre de 1 000 m<sup>3</sup> provenant de Melox).

Les déchets ITER forment une famille particulière, également prise en compte (Déchets divers produits pendant les phases d'exploitation, de maintenance et de déconstruction du réacteur ITER). Les modes de conditionnement ne sont pas figés. On estime néanmoins les volumes conditionnés à 3 680 m<sup>3</sup>. Ils contiendront surtout des produits d'activation (PA) et du tritium.

### **3.5 Conséquences d'une prolongation de la durée d'exploitation des réacteurs**

Comme indiqué plus haut, le MID ajoute, pour certaines familles de déchets, une marge de dimensionnement pour couvrir (i) un éventuel allongement de la durée d'exploitation du parc engagé, (ii) l'exploitation et la déconstruction d'installations futures (EPR n°2, prototype de réacteur de quatrième génération par exemple), (iii) des aléas sur les opérations de déconstruction. Ainsi la prolongation éventuelle de la durée d'exploitation des réacteurs jusqu'à 50, voire 60 ans est prise en compte dans les chiffres de 12 000 m<sup>3</sup> (HA) et 108 000 m<sup>3</sup> (MAVL) correspondant au scénario de dimensionnement. Cette prolongation intervient fortement sur les HA (la production de HA varie comme l'énergie produite) et moins sur les MAVL (seules deux familles de l'Inventaire national, la famille F2.4.04, qui représente 12 000 m<sup>3</sup> et la famille F2.2.03, qui représente 5 000 m<sup>3</sup>, sont impactées).

### **3.6 Volumes de déchets qui pourraient être stockés au fur et à mesure du temps (et en fonction du refroidissement)**

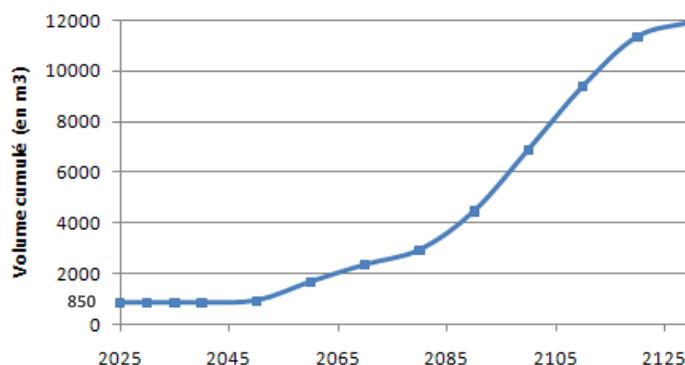
Pour être acceptés en stockage, les colis de déchets HA ou MAVL devront être conformes à des spécifications d'acceptation. La conformité des caractéristiques de chaque famille de colis sera vérifiée suivant un processus d'agrément. La conformité des colis fabriqués puis livrés sera suivie par des actions de surveillance de la qualité<sup>5</sup> et par des contrôles (voir la partie « Surveillance », § 6.3).

Des projets de spécifications d'acceptation seront joints à la demande d'autorisation de création du centre de stockage.

De par leur dégagement de chaleur, les déchets HA issus des réacteurs REP/EPR nécessitent un entreposage préalable permettant une première phase de refroidissement. La durée minimale d'entreposage de ces déchets est de 60-70 ans (voir la partie « Comportement des colis et du stockage », § 5.1). Cette durée est comptée à partir de la date où les combustibles nucléaires sont sortis des réacteurs, soit 1980 pour les premiers.

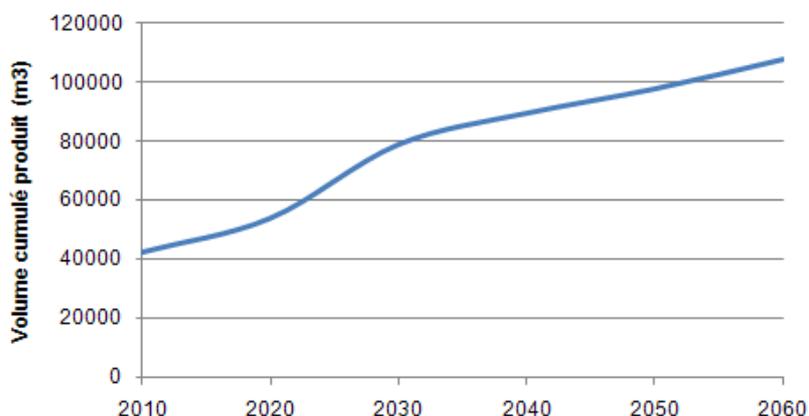
Le volume de déchets HA « stockables », c'est-à-dire dont le refroidissement devient compatible avec un stockage, est représenté ci-dessous. Pour établir cette figure qui couvre à la fois des déchets déjà produits et des déchets à produire par le parc électronucléaire français, le scénario de dimensionnement du MID a été considéré.

<sup>5</sup> Des actions de surveillance des productions sont d'ores et déjà menées en anticipation.



*Volume cumulé de déchets HA vitrifiés stockable du pont de vue thermique (scénario de dimensionnement)*

Contrairement aux déchets HA, les déchets MAVL ne nécessitent pas au plan technique d'entreposage préalable, ou cet entreposage peut être limité à quelques années. Aussi, à tout moment, les colis « stockables » sont constitués par les déchets déjà produits et déjà conditionnés. La figure suivante donne le volume de colis de déchets MAVL conditionnés<sup>6</sup> disponible au cours du temps sur la base du scénario de dimensionnement.



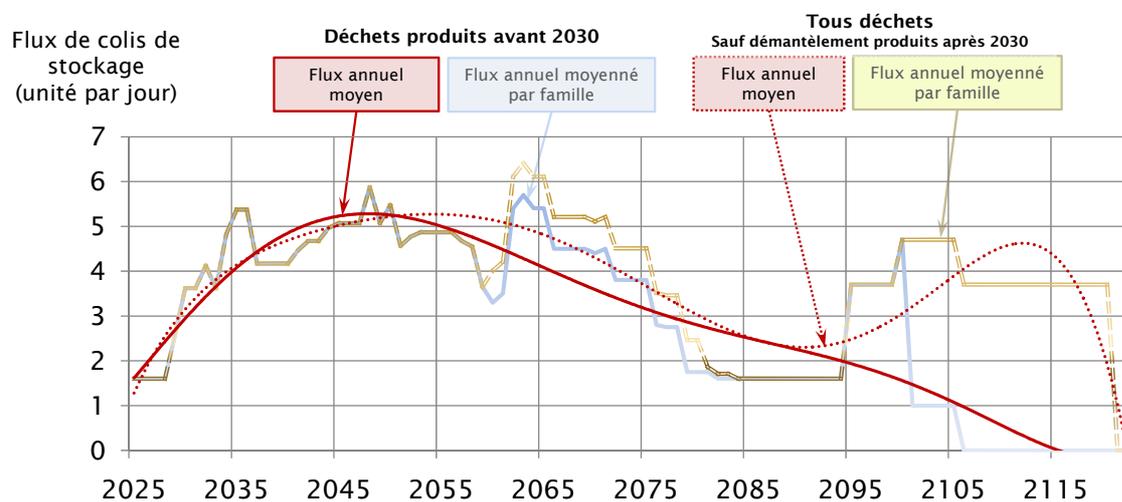
*Volume cumulé de déchets MAVL produits au cours du temps (scénario de dimensionnement)*

L'Andra a simulé un scénario possible de mise en stockage des déchets HA et MAVL (voir figure ci-dessous). Ce scénario prend en compte les capacités d'entreposage existantes ou à créer prochainement, qui permettent d'ordonnancer dans le temps les transports de déchets des sites de Bugey, Cadarache, La Hague, Marcoule et Valduc vers le site de stockage.

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 calendriers de livraison de colis sur le centre de stockage (ce travail est prévu par le Plan national de gestion des déchets radioactifs pour 2012).

<sup>6</sup> Ce volume correspond à des « colis primaires » tels qu'ils sont aujourd'hui fabriqués par les exploitants nucléaires.

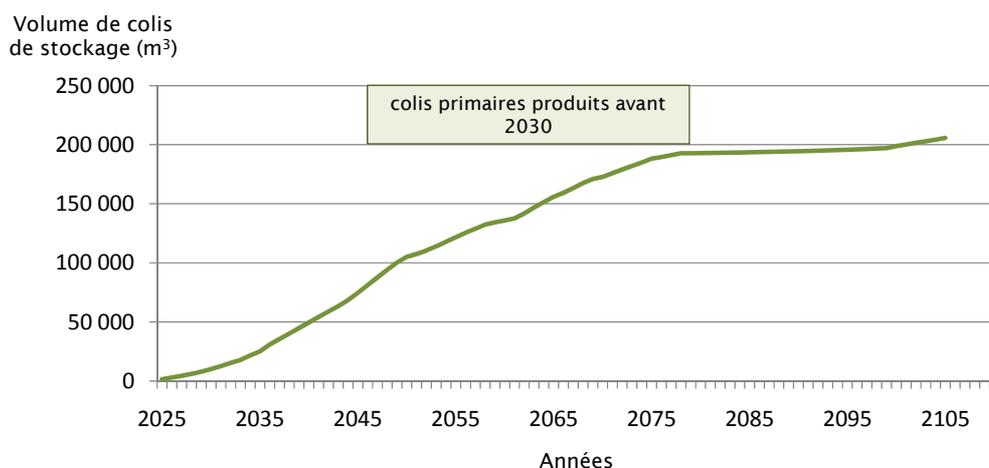
La figure ci-dessous présente les résultats de la simulation effectuée, sous la forme du nombre de colis de stockage qui seraient descendus dans les installations souterraines de stockage chaque jour (pour mémoire, les colis primaires sont reconditionnés en colis de stockage avant d'être stockés ; si un colis primaire HA devient un colis de stockage HA lors de cette opération, plusieurs colis primaires MAVL sont regroupés dans un même colis de stockage MAVL).



*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 à partir de 2050*

La simulation effectuée montre une augmentation progressive du flux de déchets stockés, jusqu'à cinq à six colis de stockage en moyenne par jour.

La figure ci-dessous présente l'évolution du volume cumulé de colis stockés, en considérant les colis primaires produits avant 2030. Le volume de colis stockés prend en compte le surcolisage des colis primaires en colis de stockage.



*Simulation<sup>7</sup> des volumes de colis de stockage des déchets HA et MAVL mis en alvéole (volume cumulé)*

<sup>7</sup> Stockage des déchets HA fortement exothermiques à partir de 2050

## 4. Réversibilité et fermeture

### 4.1 Exploitation, durée de réversibilité, oubli

#### *Commentaires ou questions de la Commission*

*« Irréversibilité du stockage à terme : selon le concept de l'Andra, le stockage est voué à la fermeture à terme, en laissant la possibilité de récupérer les colis le plus longtemps possible (au moins 100 ans) pour tenir compte des progrès, comme par exemple la transmutation.*

*Pour les membres de la commission, cela signifie que le projet de stockage vise l'oubli comme garantie de sûreté, au bout d'un délai plus ou moins long (ou plus ou moins court) pendant lequel la récupérabilité sera possible (l'Andra parle de risque d'abandon au-delà de 500 ans). Il convient de noter que la période d'activité d'un centre de stockage est évaluée à 100 ans. Limiter la réversibilité à cette période en prenant comme point de départ l'ouverture du centre serait donc sans grand intérêt.*

*Comment se fait la ventilation (humidité et chaleur) des galeries*

*Motif et condition de la maintenance au cours des 100 premières années, et au cours des siècles suivants ?*

*Conséquences de la suppression des galeries de la ventilation suite au remblayage ?*

#### Réponses ou commentaires de l'Andra

##### ➤ La question de l'oubli

Le projet de stockage ne vise pas l'oubli, mais doit prendre en compte le risque d'oubli. Comme indiqué dans le document transmis à la Commission en septembre 2009, l'oubli ne peut pas 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 émis par l'Autorité de sûreté nucléaire (2008), 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 oubli<sup>8</sup>. Ceci fait notamment partie des évaluations internationales et nationales des dossiers de l'Andra.

Un contrôle institutionnel du site sera assuré après fermeture, non borné a priori dans le temps. Dans les études de sûreté, on prend en compte le risque d'une défaillance de ce contrôle au-delà de 500 ans.

On ne prévoit pas un stockage dans le but de l'oublier ou de le banaliser, mais pour "*prévenir ou limiter les charges qui seront supportées par les générations futures*" (selon les termes de la loi du 28 juin 2006), d'où la nécessité d'envisager à terme la fermeture des ouvrages souterrains.

##### ➤ Exploitation et fermeture du stockage

La fermeture peut être conçue par étapes successives. Chaque étape correspond à un niveau particulier de l'échelle de récupérabilité en cours d'élaboration à l'international (OCDE/Agence de l'Energie Nucléaire, voir la partie 2 « Motivations de la réversibilité ») :

- Niveau 3 : obturation d'une alvéole de stockage,
- Niveau 4 : remblayage et scellement de galeries d'accès,
- Niveau 5 : remblayage et scellement des puits et descenderies de liaison entre la surface et le fond.

<sup>8</sup> 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).

L'Andra propose que la définition de la période de réversibilité s'étende du premier colis mis en stockage (niveau 2 de l'échelle) jusqu'à la fermeture des ouvrages de liaison surface-fond, qui correspond au passage au niveau 5. La période de réversibilité porterait ainsi sur les niveaux 2,3 et 4 de ce projet d'échelle.

Le processus décisionnel pour franchir les étapes de fermeture devra être défini. Les textes réglementaires existants fournissent des premiers éléments :

- La loi du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs 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 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.
- 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.

Prendre comme point de départ de la durée de réversibilité la date de stockage du premier colis n'implique pas que la période de réversibilité se termine à l'arrêt définitif du centre de stockage.

#### ➤ **Ventilation et maintenance des ouvrages en exploitation**

Aussi longtemps qu'un ouvrage souterrain est exploité, c'est-à-dire que des opérations doivent y être effectuées, il doit être ventilé et maintenu.

La ventilation consiste à prélever de l'air en surface, à l'acheminer au moyen de ventilateurs dans les installations souterraines, via des ouvrages de liaison entre la surface et le fond, à le distribuer dans les différents ouvrages souterrains exploités (galeries et alvéoles MAVL<sup>9</sup>), puis à collecter et à extraire l'air vers la surface pour un rejet contrôlé à l'atmosphère. Les débits d'air dans chaque ouvrage sont ajustés à la nature de cet ouvrage et à la phase d'exploitation dans laquelle il se trouve. L'humidité de l'air dans les installations souterraines est faible du fait de la température régnant dans les ouvrages souterrains (au moins 22 °C, température ambiante en profondeur) et des échanges hydriques avec la roche argileuse. Cette faible humidité est favorable à la durabilité des ouvrages. Au voisinage des alvéoles HA et dans les alvéoles de déchets MAVL faiblement exothermiques, l'air est échauffé par la chaleur dégagée par les déchets. La plus grande part de la chaleur des déchets HA est évacuée par conduction dans la roche et non par l'air de ventilation, quelle que soit l'étape de fermeture de l'alvéole (voir aussi la partie « Comportement des colis et du stockage »).

Pour assurer leur disponibilité opérationnelle sur une grande durée, les systèmes actifs électromécaniques permettant d'exploiter les ouvrages nécessitent une maintenance périodique (moyens de manutention, ventilateurs, armoires électriques...). Les modalités pratiques de maintenance dépendent du type d'ouvrage et de leur équipement : alvéoles ou galeries.

Les alvéoles ne sont pas accessibles au personnel lorsqu'elles contiennent des colis de déchets, à cause du rayonnement. La maintenance des équipements électromécaniques y permettant la

<sup>9</sup> Les alvéoles HA ne sont pas ventilées.

manutention des colis ne s'effectue pas dans les alvéoles ; ces équipements sont ramenés dans une zone située à l'abri du rayonnement.

La maintenance des galeries est similaire à la pratique des tunnels routiers ou ferroviaires. Ils sont en effet accessibles au personnel. Ce dernier peut y effectuer directement la maintenance des équipements électro-mécaniques. Il peut aussi, si cela était rendu nécessaire après une grande durée d'exploitation, procéder à une maintenance du génie civil qui permettrait de prolonger l'exploitation de ces galeries.

La fermeture d'un ouvrage permet d'y interrompre la ventilation et la maintenance. En effet l'ouvrage n'est alors plus accessible (sauf dans le cas d'une réouverture, voir plus loin au § 4.3) et le confinement des déchets radioactifs repose sur des systèmes passifs. Cela réduit la charge de la gestion de cet ouvrage pour les générations suivantes. Néanmoins on cherche à poursuivre la surveillance et l'observation de cet ouvrage, en adaptant si nécessaire les moyens mis en œuvre compte tenu de sa nouvelle configuration.

## 4.2 Possibilité d'une réévaluation régulière des modalités de réversibilité

### *Commentaires ou questions de la Commission*

*Que signifie « on pourrait imaginer que l'exploitant du stockage fournisse périodiquement un rapport sur les modalités de réversibilité. » ?*

### **Réponses ou commentaires de l'Andra**

L'Andra propose que les modalités de réversibilité soient réévaluées régulièrement après la mise en exploitation du projet de centre de stockage.

En effet les longues durées considérées pour l'exploitation et pour la réversibilité (de l'ordre du siècle) suggèrent de mettre à jour régulièrement les connaissances sur la base desquelles sont prises les décisions sur la gestion du stockage (par rapport à celles utilisées pour décider de sa création puis de sa mise en exploitation). Cette mise à jour exploitera le retour d'expérience de l'exploitation du stockage, les progrès scientifiques et techniques ainsi que l'évolution des ouvrages constatée grâce aux moyens de surveillance et d'observation placés dans le stockage.

Les possibilités offertes en matière de réversibilité constituent une donnée importante pour permettre des décisions. C'est pourquoi l'Andra propose d'identifier spécifiquement un travail de mise à jour de ces possibilités, voire de l'institutionnaliser pour lui conférer un caractère obligatoire, typiquement au moyen de rendez-vous périodiques. A l'image du réexamen périodique de sûreté de toute installation nucléaire de base (un tel réexamen est aussi à prévoir pour le stockage), l'exploitant du stockage remettrait périodiquement une mise à jour des modalités de la réversibilité, qui pourrait ensuite faire l'objet d'une évaluation scientifique et technique.

Compte tenu des durées envisagées, la périodicité de ces réexamens pourrait être de l'ordre de la dizaine d'années.

Concrètement, ce réexamen comprendrait :

- une analyse des conséquences des différentes options de gestion à venir du stockage sur sa sûreté.
- une réévaluation, au regard de la sûreté de l'installation, de la flexibilité dont on dispose dans le temps vis-à-vis des décisions de fermeture du stockage, et plus généralement de la durée de réversibilité (compte tenu des marges adoptées dans les dimensionnements).
- une réévaluation des modalités de récupération des colis avec l'évolution de l'état de ces colis et des structures,
- un état d'avancement des recherches plus générales relatives à la gestion des déchets.

### 4.3 Récupération après fermeture, méthodes minières, moyens à mettre en œuvre

#### *Commentaires ou questions de la Commission*

*Que signifie « la fermeture du stockage ne rend pas les déchets irrécupérables » : quelles seraient les moyens à mettre en œuvre ?*

*Quelles seraient les méthodes minières pour reprendre les déchets ? »*

*Modalités de fermeture des galeries et possibilités de les rouvrir ?*

#### **Réponses ou commentaires de l'Andra**

La fermeture n'est pas un acte administratif, mais un acte technique consistant à remblayer des ouvrages souterrains et à y construire des barrages d'étanchéité à l'eau qu'on appelle des scellements. Cela évite de poursuivre la ventilation et la maintenance des ouvrages correspondants tout en pérennisant la sûreté, en évitant des circulations d'eau souterraine même limitées.

Comme mentionné plus haut, l'Andra a proposé de concevoir la fermeture de manière progressive par étapes, en se donnant la possibilité de temporiser chaque étape. Chaque fois qu'on procède à une étape de fermeture, revenir en arrière pour rechercher un colis sera plus complexe. Le retrait demandera d'abord d'enlever les ouvrages d'étanchéité et de déblayer les remblais, ce qui n'est pas le cas tant que les déchets sont directement accessibles. Cependant déposer ces ouvrages de fermeture reste envisageable avec des méthodes de travaux classiques. L'Andra a présenté dès 2005 des procédures techniques pour le faire. Les travaux menés depuis 2005 ont permis de préciser conjointement la conception des alvéoles et les procédures de remise en configuration et de retrait.

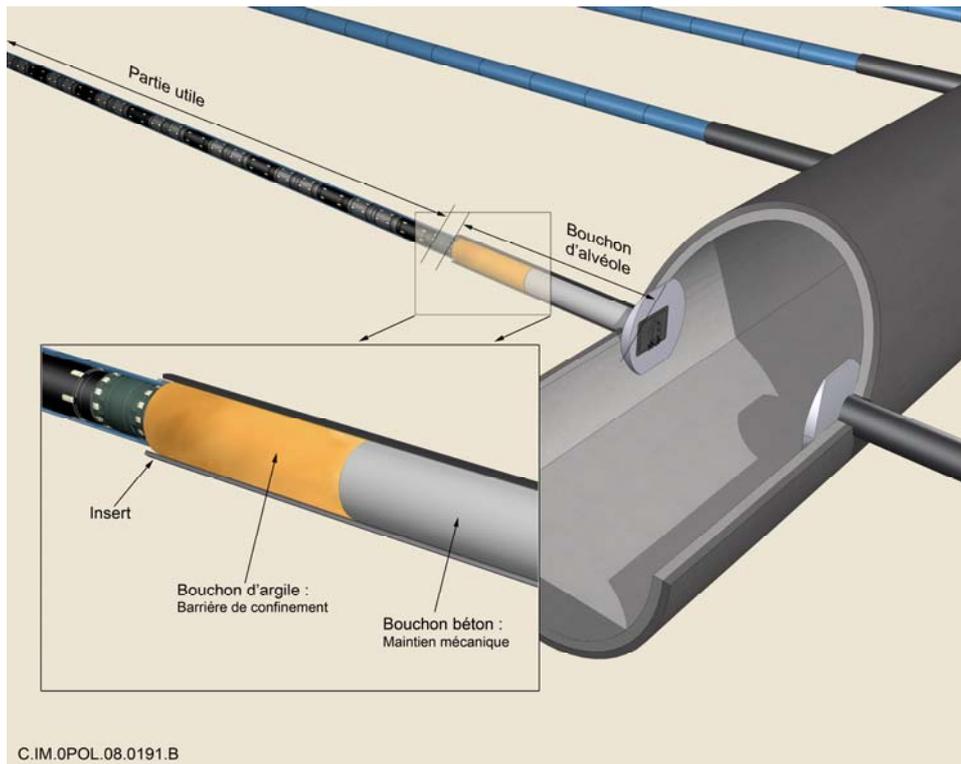
#### ▪ **Retour dans une alvéole HA fermée**

Lorsqu'on décide d'obturer une alvéole HA (passage du niveau 2 au niveau 3 de l'échelle de récupérabilité en projet), on met en place en tête d'alvéole un bouchon d'argile gonflante et un bouchon d'appui en béton.

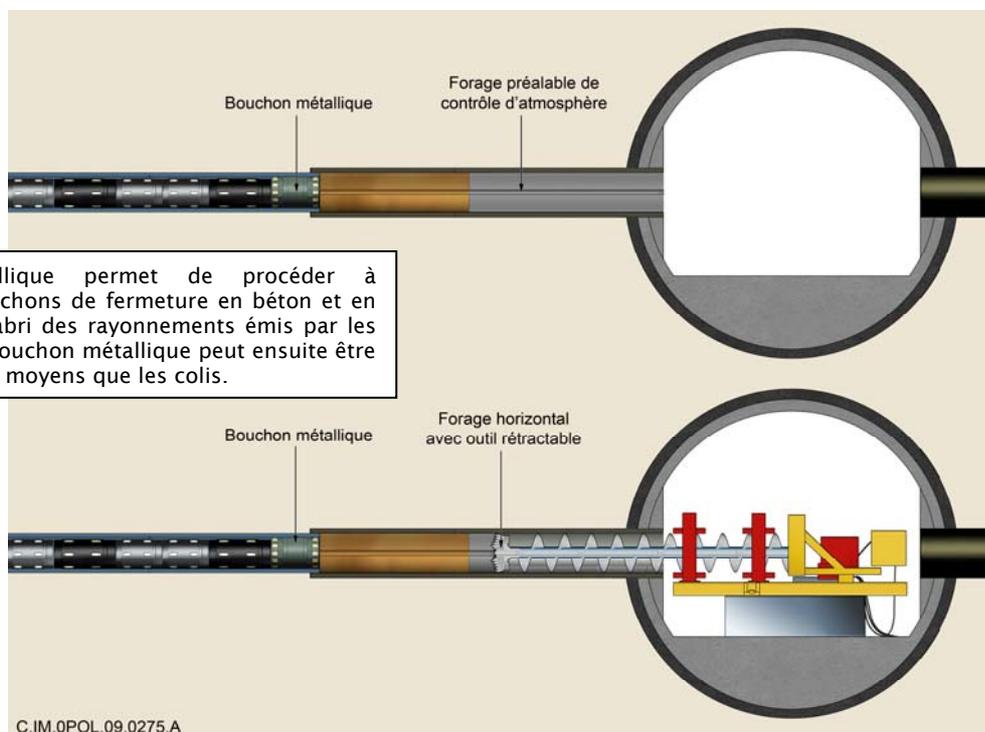
Pour revenir dans une alvéole obturée, on dépose les deux bouchons de fermeture (argile et béton) par forage au moyen d'un outil de coupe rétractable et d'une vis sans fin permettant d'évacuer les déblais. Ce travail est précédé par un forage préalable de petit diamètre pour contrôle de l'atmosphère interne de l'alvéole.

Après cette opération, on peut remettre en œuvre des moyens de manutention des colis de déchets. Les ouvrages sont conçus pour être durables et permettre ainsi un retour différé. Mais dans la conception des moyens de manutention, l'Andra prend aussi en compte la possibilité qu'il y ait eu des déformations dans l'alvéole, ou des résistances plus fortes pour retirer les colis.

Ainsi, les essais réalisés dans le cadre du programme européen ESDRED ont permis de tester un certain nombre de situations dégradées : franchissements de « marches » (par décalage de 2, 4 et 6 mm de tronçons de chemisage), franchissements de vides (écart de 2 à 4 cm entre tubes) et modifications des conditions de glissement (limaille, poussière, eau). La mise en place et le retrait de colis dans une alvéole qui ne serait pas rectiligne a aussi été testée. Il est à noter que les moyens techniques développés pour ces essais sont maintenant présentés au public à l'Espace technologique du Centre de Meuse/Haute-Marne.



*Alvéole de stockage HA (ou CU3) après obturation*



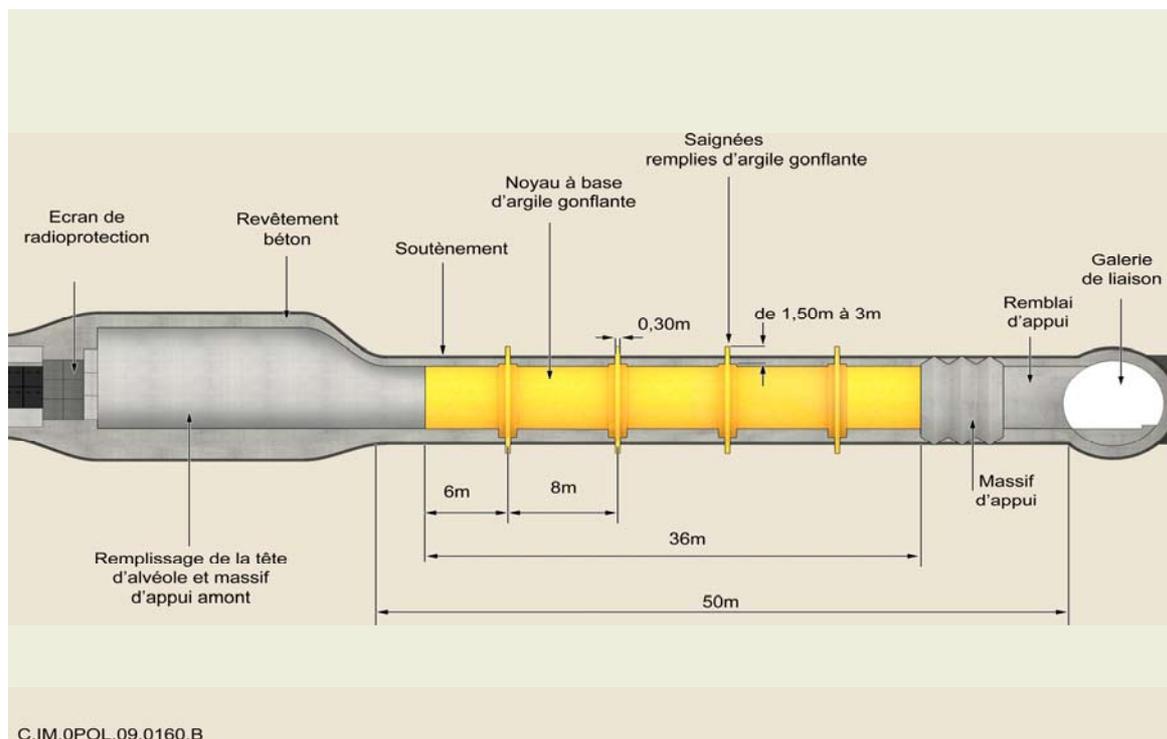
*Enlèvement des bouchons de fermeture d'une alvéole HA*



*Essai de manutention dans une alvéole HA déformée*

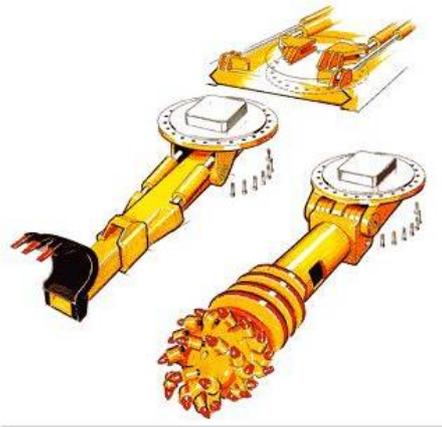
▪ **Retour dans une alvéole MAVL fermée**

Lorsque l'on décide de fermer une alvéole MAVL, on construit à l'entrée de cette alvéole un scellement constitué d'un noyau à base d'argile gonflante maintenu de part et d'autre par un massif d'appui en béton.

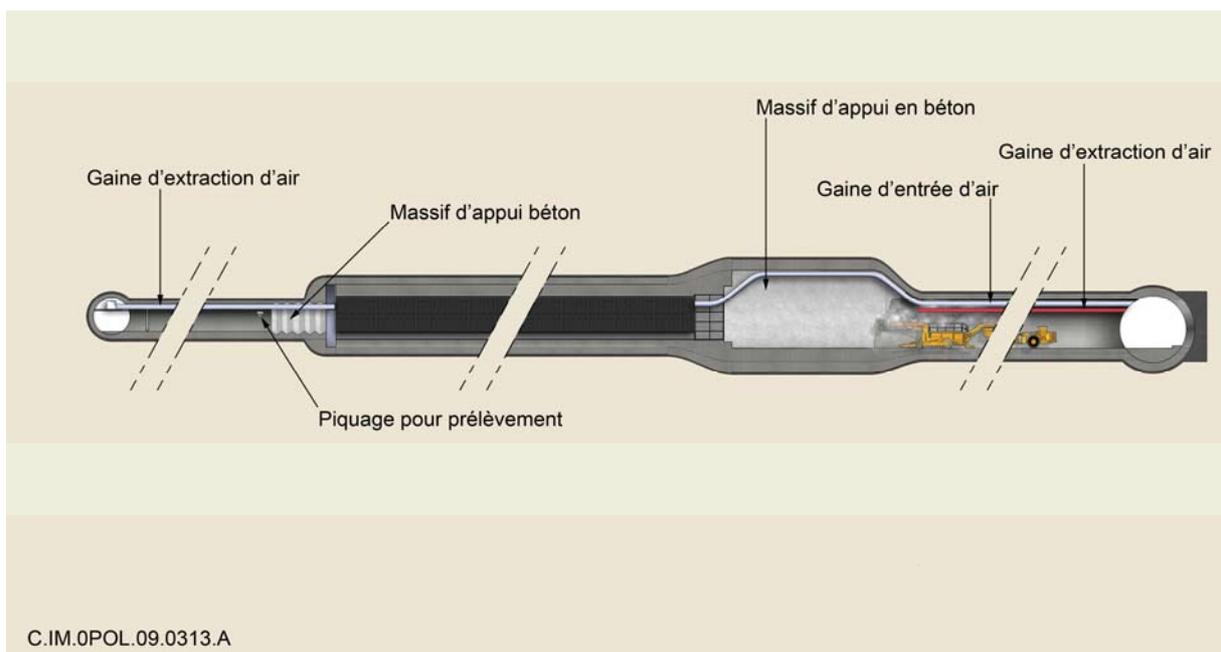


*Coupe longitudinale schématique d'un scellement d'alvéole de déchets MAVL*

Pour le déposer, l'utilisation d'une machine à attaque ponctuelle est envisagée. Il s'agit d'une machine identique à celle ayant permis de creuser les ouvrages souterrains (une telle machine est actuellement utilisée au Laboratoire). Ce type de machine est équipé d'un système d'évacuation par tapis qui se déverse directement à l'arrière sur des bandes transporteuses ou dans des bennes.



*Machine à attaque ponctuelle*



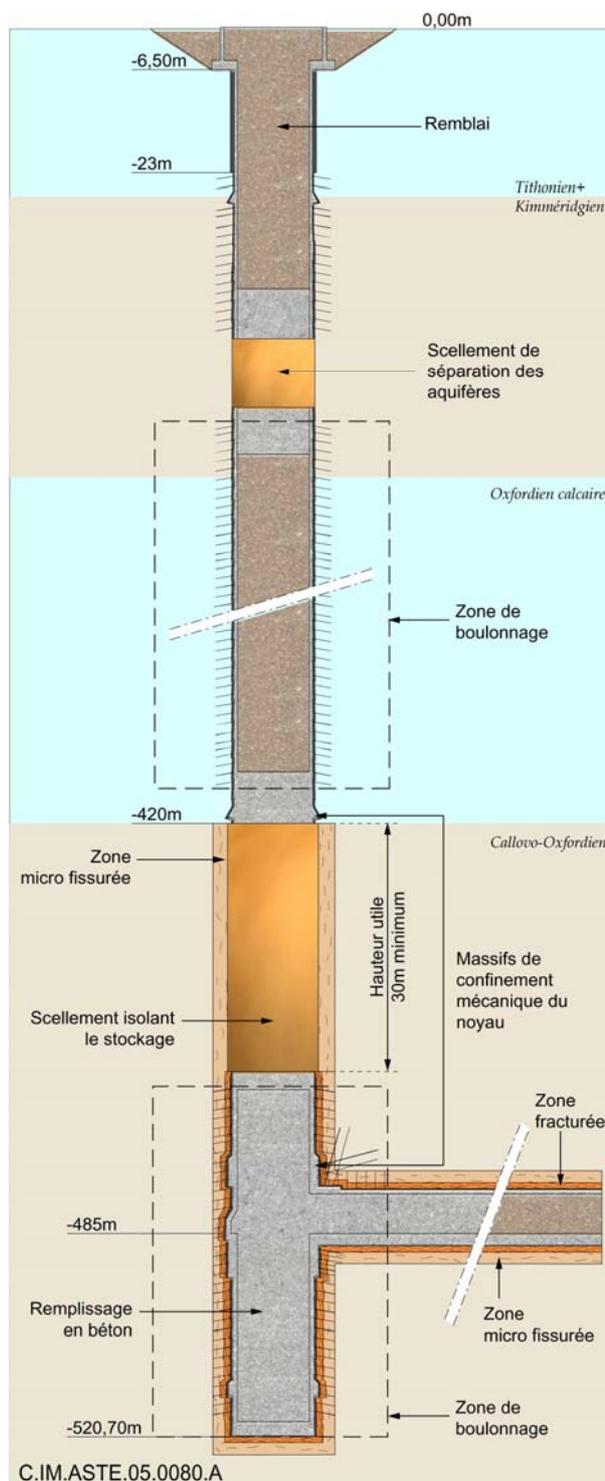
*Enlèvement des massifs d'appui en béton de la galerie d'accès*

#### ▪ Retour dans des galeries de liaison fermées

A un stade plus avancé de l'exploitation, les galeries de liaison peuvent être fermées par des scellements et remblais de même type que ceux utilisés pour fermer une alvéole MAVL. Le retour en arrière utilise les mêmes techniques.

▪ **Retour dans le stockage après fermeture des ouvrages de liaison surface-fond**

Après fermeture de l'ensemble du stockage, l'accès aux ouvrages souterrains peut se faire en créant un nouvel accès dans la roche vierge. Cette solution pourra être comparée à une solution alternative qui consisterait à ré-excaver au travers des bouchons successifs de remblais et scellement. En tout état de cause, l'analyse détaillée des conditions d'un retrait éventuel des colis après fermeture complète pourra être menée dans le cadre du dossier de demande d'autorisation de fermeture du stockage, qui ne pourra être délivrée qu'après le vote d'une nouvelle loi par le Parlement.



*Fermeture de puits d'accès aux installations souterraines*

A beaucoup plus long terme, plusieurs siècles à plusieurs millénaires, les matériaux dans les alvéoles auront évolué, et une opération de retrait se complexifiera encore, pas tant en ce qui concerne le descellement des galeries, mais pour l'enlèvement des colis qui pourraient être bloqués physiquement.

Comme l'a mentionné la CNE, l'on pourrait alors avoir recours à des méthodes minières ; la reprise des déchets pourrait s'apparenter à l'exploitation d'un gisement d'uranium à haute teneur, à l'image de mines au Canada (Cigar lake).



*Cigar Lake : galerie souterraine pour l'exploitation du gisement*

#### **4.4 Perspectives d'évolution de l'inventaire de déchets (transmutation, autres traitements, nouvelles générations de réacteurs et d'usines)**

##### *Commentaires ou questions de la Commission*

*« Concernant l'apport de la transmutation pour les déchets produits actuellement et jusqu'à ce que la technique soit industriellement exploitée, il convient de se demander si la vitrification n'est pas une opération irréversible, qui ne permettrait plus d'intervenir ultérieurement sur les déchets ainsi conditionnés, sans tenir compte de l'apport éventuel de la transmutation.*

*Préciser l'avancement des recherches sur la transmutation, quels en sont les résultats attendus*

*Quels sont les types de déchets pour lesquels la transmutation est possible / impossible,*

*« Le modèle d'inventaire de dimensionnement du projet de centre de stockage ne couvre pas les futures générations de réacteurs et d'usines ». Quelles sont alors les perspectives ? »*

*Quelles sont les possibilités de traitement sur les déchets actuels, selon qu'ils sont vitrifiés ou non ?*

## Réponses ou commentaires de l'Andra

### 4.4.1 La vitrification des déchets HA

La vitrification des déchets HA apporte un gain important en matière de sûreté en entreposage.

Tant qu'ils ne sont pas conditionnés, les déchets HA issus du retraitement des combustibles usés se trouvent sous forme liquide (solutions de produits de fission et d'actinides mineurs) ; les cuves contenant ces solutions concentrées demandent un brassage mécanique et un refroidissement permanents par des systèmes complexes. La sûreté des cuves d'entreposage dépend de la disponibilité opérationnelle de ces systèmes.

La solidification des déchets HA et leur incorporation dans une matrice de verre, elle-même coulée dans un conteneur en acier inoxydable réfractaire, permettent de stabiliser et de rendre non dispersables les substances radioactives contenues dans les déchets. L'entreposage ne requiert plus de système de brassage et le refroidissement peut être assuré de manière beaucoup plus simple, ce qui favorise la sûreté. Dans les entrepôts « E-EV-SE » de La Hague, ce refroidissement s'effectue par thermo-convection naturelle, de manière passive sans système électromécanique.

En situation de stockage, le verre constitue une matrice de confinement particulièrement performante et durable, qui complète le confinement géologique apporté par la couche argileuse du Callovo-Oxfordien.

Dans la pratique de la conception et de l'exploitation d'installations nucléaires, la sûreté constitue un critère essentiel qui explique le choix de vitrifier les déchets HA et d'effectuer cette opération « en ligne » avec la production des déchets.

Il est à noter que la loi du 28 juin 2006 généralise l'option d'un conditionnement des déchets au plus vite en imposant le conditionnement de tous les déchets déjà produits au plus tard en 2030. Cela se traduira par la reprise et le conditionnement de certains déchets MAVL aujourd'hui entreposés sous forme non conditionnée.

Le confinement des déchets dans le verre réduit leur accessibilité au bénéfice de la sûreté. Cependant il reste possible d'effectuer une attaque acide du verre pour en extraire une grande partie des produits de fission et actinides ; des résultats favorables ont été obtenus à petite échelle en laboratoire<sup>10</sup>.

### 4.4.2 Possibilités offertes par la transmutation

Les recherches sur la transmutation sont menées par le CEA.

Au terme d'une première phase de recherches investiguant une large gamme de possibilités (jusqu'en 2005), le CEA a conclu que seuls les éléments les plus lourds (les actinides transuraniens) pouvaient raisonnablement être transmutés en l'état des connaissances : plutonium<sup>11</sup> (Pu), américium (Am) et autres actinides mineurs<sup>12</sup>. Il a donc orienté les recherches sur la séparation et la transmutation de ces éléments. Les autres radionucléides à vie longue présents dans les déchets HA : produits d'activation (PA) et produits de fission (PF), ne sont pas couverts par les recherches en cours. Il est à noter que la transmutation ne concerne que les déchets HA. Ceux-ci, directement issus du combustible nucléaire, concentrent la plus grande part de la radioactivité des déchets. La nature des déchets MAVL<sup>13</sup> est incompatible avec le principe d'une transmutation.

<sup>10</sup> Un exemple est donné dans « Retrieval of Metals in the Borosilicate Glass for Nuclear Wastes » par Youichi Enokida, Kayo Sawada, Kazuyoshi Uruga (Nagoya University), "Proceedings of the 12<sup>th</sup> International High-Level Radioactive Waste management Conference", American Nuclear Society 2008.

<sup>11</sup> Le plutonium dispose, comme l'uranium, d'un potentiel énergétique qui en fait une matière valorisable, contrairement aux actinides mineurs qui ne présentent pas de potentiel énergétique.

<sup>12</sup> Les principaux actinides mineurs produits en réacteur de fission sont le neptunium-237, les américium-241 et 243 et les curium-244 et 245.

<sup>13</sup> Les déchets MAVL sont constitués principalement de pièces mécaniques contaminées lors de leur utilisation dans une installation nucléaire, de pièces activées par un rayonnement neutronique en réacteur et d'effluents de procédé solidifiés.

L'intérêt potentiel de la transmutation des actinides est d'une part de diminuer la radiotoxicité à long terme des déchets HA, d'autre part de réduire le dégagement thermique de ces déchets car celui-ci est dû partiellement à certains isotopes d'actinides (plutonium-241, américium-241 et dans une moindre mesure curium-244).

La transmutation n'est envisageable en pratique que dans le cadre du déploiement de nouveaux parcs de réacteurs, qui prendraient la succession du parc actuel au terme de son exploitation. Pour effectuer la transmutation, le CEA privilégie l'utilisation de réacteurs à neutrons rapides (RNR) dits de quatrième génération (qui pourraient être introduits progressivement en parallèle avec des EPR<sup>14</sup>). Une alternative réside dans le déploiement de systèmes hybrides (ADS) qui seraient dédiés à la transmutation ; ces systèmes hybrides associant un cœur sous-critique et un accélérateur de particules fonctionneraient en parallèle de réacteurs ayant comme seule finalité la production électrique.

Les actinides produits dans de futurs parcs avec RNR devraient faire l'objet d'un recyclage multiple. Les diverses options étudiées se distinguent par le type d'actinides multi-recyclés dans ce système : plutonium seul, plutonium+américium, ensemble des actinides transuraniens. Un recyclage consiste à traiter les éléments combustibles extraits du réacteur et à en séparer les actinides à transmuter. La séparation du plutonium est une pratique industrielle ; elle est aujourd'hui mise en œuvre dans le cadre du retraitement des combustibles usés à La Hague. De nombreuses expériences du CEA Marcoule sont terminées ou en cours pour ajuster les procédés d'extraction des autres actinides. Une fois séparés, les actinides à transmuter sont incorporés dans un nouvel élément combustible, qui sera replacé en réacteur pour un nouveau cycle.

La mise en service de RNR nécessite du plutonium. Celui-ci serait fourni par le retraitement des combustibles MOX déchargés du parc actuel, et aujourd'hui entreposés.

La loi du 28 juin 2006 a prévu un rendez-vous en 2012 pour évaluer les perspectives industrielles de la séparation-transmutation et décider de la technologie du prototype d'installation qui devrait être mis en exploitation avant fin 2020.

#### **4.4.3 Impact de la transmutation sur le stockage**

L'Andra évalue en partenariat avec le CEA l'impact de la nature des déchets HA et MAVL issus d'options de transmutation sur leur stockage.

Ramené à l'énergie électrique produite, le volume de déchets serait comparable au volume produit par le parc actuel, voire légèrement supérieur pour les déchets MAVL<sup>15</sup>.

La séparation-transmutation des actinides amène une décroissance thermique plus rapide des déchets HA. Cela se traduit par une diminution de l'emprise souterraine du stockage de ces déchets (ce n'est pas le cas des déchets MAVL). En comparaison du multirecyclage du plutonium, la séparation-transmutation des autres actinides offre (i) une réduction d'un facteur 2 (pour l'américium) à 2,5 (pour tous les actinides mineurs) de l'emprise du stockage des verres HA après un entreposage de 70 ans, (ii) une réduction de 30 % (pour l'américium) à 40 % (pour tous les actinides mineurs) du volume total de roche à excaver pour stocker l'ensemble des déchets.

Une transmutation des actinides n'apporte pas de bénéfice au plan de l'impact radiologique du stockage. En effet les actinides sont particulièrement peu mobiles. Seuls quelques produits de fission à vie longue (iode 129, chlore 36) sont susceptibles de migrer à très long terme hors du stockage, les études ayant toutefois montré que leur impact restera très inférieur à celui de la radioactivité naturelle.

---

<sup>14</sup> L'EPR constitue la troisième génération de réacteur.

<sup>15</sup> De manière générale, le volume des déchets MAVL produits augmente avec le nombre et la complexité des opérations mises en œuvre. De plus la conception des RNR conduit à des déchets MAVL supplémentaires.

#### **4.4.4 Prise en compte des futures générations de réacteurs et d'usines**

Les déchets produits par d'hypothétiques parcs de réacteurs qui viendraient en relève du parc actuel n'entrent pas dans le modèle d'inventaire de dimensionnement du projet de centre de stockage étudié en Meuse/Haute-Marne. En effet, la conception du projet de stockage ne peut pas préjuger de décisions futures en matière de politique énergétique. En revanche elle couvre l'ensemble des déchets engagés, c'est-à-dire qui seront produits, jusqu'à leur démantèlement, par les installations nucléaires passées, présentes ou dont la création a déjà été décidée.

## 5. Comportement des colis et du stockage

### *Commentaires ou questions de la Commission*

*« Comportement des colis : l'Andra envisage de placer les colis HAVL dans des alvéoles (et non des galeries) ne nécessitant pas de remblayage et qui doivent tenir plusieurs siècles sans risque d'écrasement des colis. Sur ce point, les membres de la commission rejoignent les préoccupations de la Commission nationale d'évaluation (CNE) relatives à la modélisation permettant d'évaluer l'évolution à long terme des alvéoles (et la période au cours de laquelle il sera toujours possible de retirer un colis).*

*Les déchets HAVL sont pour la plupart vitrifiés et coulés dans des conteneurs en acier inoxydable. En cas de stockage, ces conteneurs seraient eux-mêmes placés dans un surconteneur en acier non allié. L'Andra estime que le colis, ainsi conditionné, a une durée de vie de plusieurs siècles.*

*Enfin, l'Andra prévoit un refroidissement naturel des colis, avec une mise en place espacée dans les alvéoles de façon à maintenir la température de la roche environnante à moins de 90°. Les membres de la commission souhaiteraient avoir des précisions sur température maximale des colis et sur la vitesse de refroidissement en milieu confiné.*

*Préciser la courbe de refroidissement des déchets en fonction du temps (en surface, dans le stockage non scellé et scellé)*

*Conséquence du dégagement de chaleur dans le stockage*

*Quels sont les volumes de déchets par « tranche de chaleur » et où sont-ils actuellement stockés ?*

*Conditions à mettre en œuvre pour que la température des bétons n'exécède pas le critère de 70 °C ? »*

### Réponses ou commentaires de l'Andra

#### 5.1 Déchets HA vitrifiés

Pour appréhender le comportement thermique du stockage, deux notions doivent être distinguées :

- La puissance thermique des déchets,
- La température atteinte dans ces déchets et dans le stockage.

La puissance thermique est un paramètre intrinsèque des colis de déchets, qui ne dépend pas des caractéristiques du lieu où ceux-ci sont placés. Elle s'exprime en watt (W). Elle correspond à l'énergie des rayonnements ionisants (bêta-gamma) émis par les radionucléides contenus dans les déchets, absorbés par la matière constitutive des déchets et par les matériaux situés au voisinage immédiat, et transformés en chaleur. La puissance thermique dépend de la radioactivité des déchets. Elle diminue dans le temps avec la décroissance radioactive.

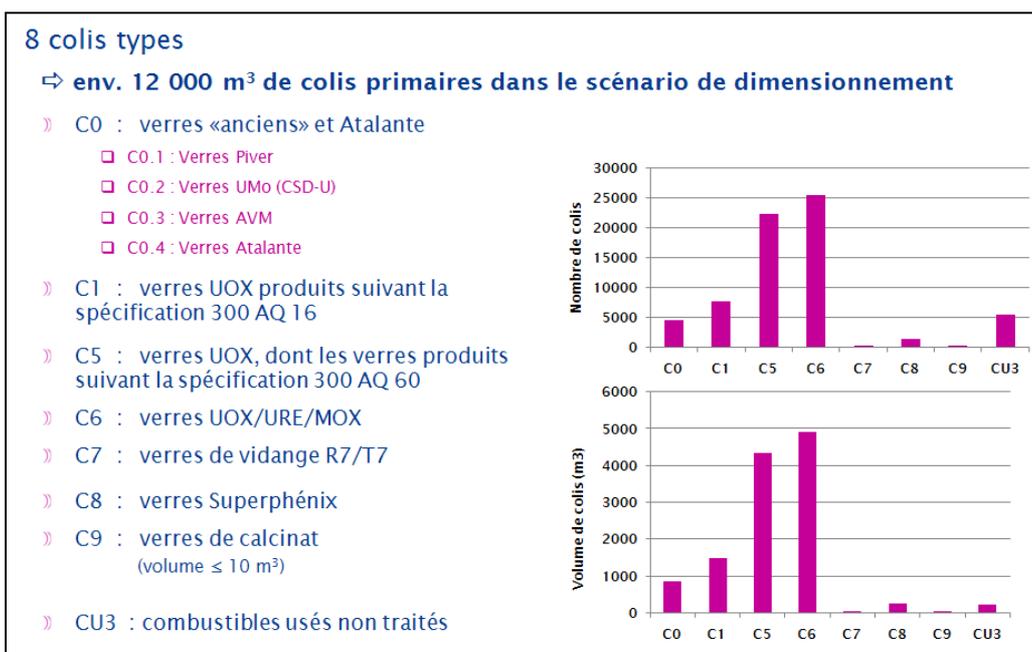
La température, exprimée en degré Celsius (°C) [16] dépend au contraire des caractéristiques du lieu où se trouve les déchets. La présence d'une source de chaleur (par exemple un colis de déchets HA) entraîne une élévation de température qui s'ajoute à la température ambiante (environ 22 °C dans la roche à la profondeur du Laboratoire souterrain). Cette élévation de température est déterminée par la puissance thermique de la source, par la surface d'échange entre la source et son environnement (plus une source de même puissance thermique sera de grande taille, moins la température à la surface de cette source sera élevée) et par la capacité du lieu où se trouve cette source à évacuer la chaleur (par conduction dans les matériaux, par convection d'air ou par rayonnement dans le spectre infra-rouge). La capacité d'un matériau à conduire la chaleur, ou conductivité thermique, s'exprime en watt par mètre et par degré Celsius ( $W \cdot m^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$  ou  $W/m/^\circ C$ ). La roche argileuse a ainsi une conductivité thermique

<sup>16</sup> Ou en kelvin (K)

beaucoup plus faible qu'un acier (1,3 à 2,7 W/m/°C pour les argilites contre environ 46 W/m/°C pour un acier au carbone).

### ➤ Puissance thermique des déchets HA et lieux actuels d'entreposage

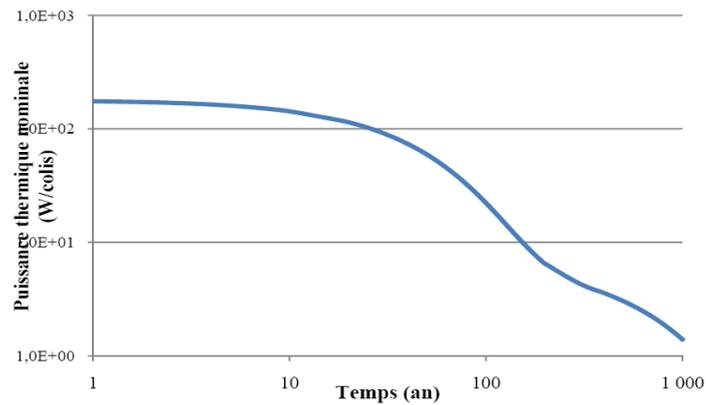
Comme indiqué plus haut, la puissance des déchets et son évolution dans le temps dépendent du contenu radiologique de ces déchets. Le MID identifie huit types de colis HA, dont les puissances thermiques sont parfois très différentes.



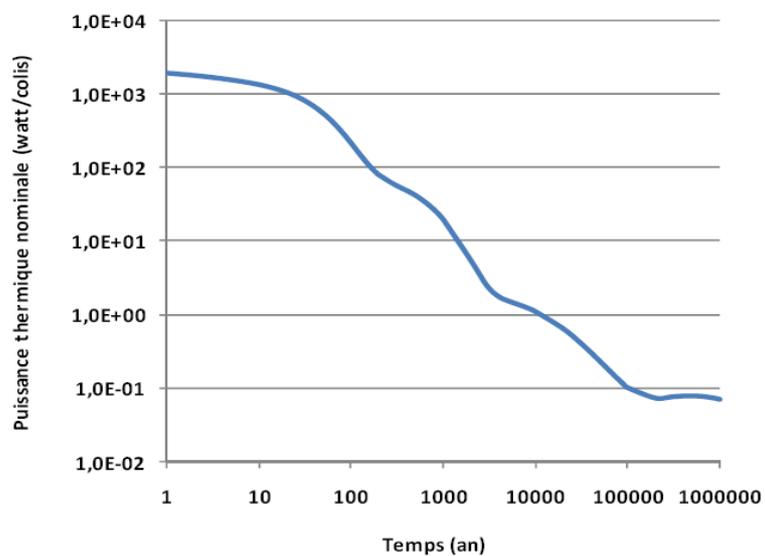
Les colis de types C0 et CU3 présentent une puissance thermique faible à modérée. Les colis de type C1, C5, C6 et C7, produits à La Hague, sont fortement exothermiques et nécessitent un entreposage préalable de décroissance avant leur stockage. La puissance thermique des types C8 et C9 sera inférieure à celle des C1/C5/C6/C7.

Les deux figures suivantes présentent l'évolution de la puissance thermique des colis HA dans deux cas représentatifs :

- Le colis-type C0.3, représentatif d'une puissance thermique modérée : verres produits à l'atelier de vitrification de Marcoule (AVM), qui pourront être stockés sans attendre ;
- Le colis-type C1, fortement exothermique, première famille de verres produits à La Hague : ces verres ne peuvent être stockés, au plus tôt, qu'après 60 ans d'entreposage (voir aussi la partie « Volume des déchets », § 3.6).



*Evolution temporelle de la puissance thermique nominale du colis type C0.3*



*Evolution temporelle de la puissance thermique nominale du colis type C1*

Les colis de type C0.1 (verres PIVER) sont actuellement entreposés à Marcoule dans le bâtiment 213, spécialement aménagé dans l'atelier pilote de Marcoule (APM).

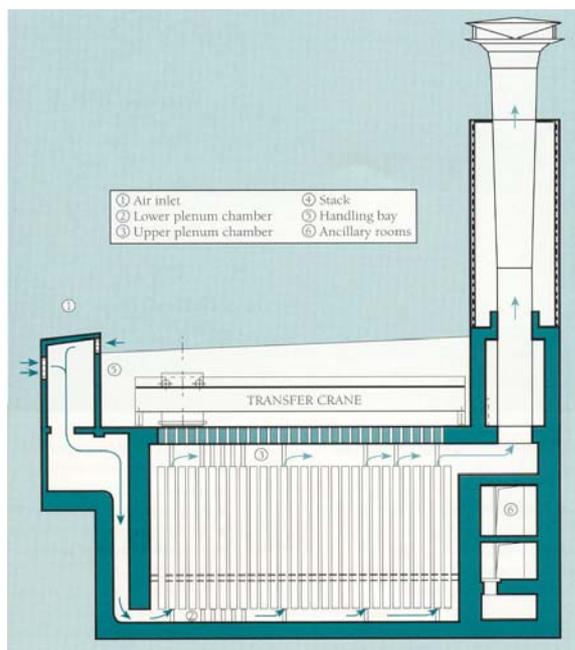
Les colis de type C0.3 sont entreposés dans l'Atelier de vitrification de Marcoule (AVM), qui dispose d'une capacité d'entreposage de 3 800 places, soit 665 m<sup>3</sup>.

Les colis de type C0.4 ne sont pas encore produits, ils le seront d'ici 2020 et devraient être entreposés dans des emplacements disponibles à l'AVM.



A gauche, l'atelier pilote de Marcoule (APM), à droite le hall de manutention des colis de l'entrepôt de l'atelier de vitrification de Marcoule (AVM) [source CEA]

Trois installations d'entreposage permettent de gérer actuellement sur le site de La Hague les colis des types C0.2/C1/C5/C6/C7/C8/C9. 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<sup>17</sup> » (E-EV-SE, voir figure suivante). Cet ensemble dispose actuellement d'une capacité cumulée de 2 174 m<sup>3</sup> (4 500 places soit 788 m<sup>3</sup> pour l'entrepôt de l'atelier R7 ; 3 600 places pour T7, soit 630 m<sup>3</sup> ; 4 320 places pour les deux modules existants d'E-EV-SE soit 756 m<sup>3</sup>). La construction d'une nouvelle extension (« E-EV-LH<sup>18</sup> ») a commencé en février 2009. Elle sera mise en service industriel en deux étapes en 2012 et 2017. Elle apportera une capacité d'entreposage additionnelle de 1 474 m<sup>3</sup> (8 424 colis). Outre les colis HA français, les entrepôts de La Hague gèrent des colis provenant du traitement de combustibles usés étrangers, avant d'être progressivement réexpédiés vers les clients étrangers d'Areva.



Installation d'entreposage E-EV-SE à La Hague (à gauche, vue en coupe montrant le refroidissement des colis entreposés par convection d'air ; à droite en bas, hall de manutention des colis situé au-dessus des puits d'entreposage dans lesquels les colis sont empilés)

[Source AREVA]

A Cadarache, l'installation d'entreposage à sec « CASCAD » (casemate d'entreposage à sec de Cadarache) de l'Installation nucléaire de base (INB) n° 22 permet de gérer les CU3. Le volume total des colis de CU3 déjà entreposés dans CASCAD représente environ 51,5 m<sup>3</sup> (3 090 colis).

<sup>17</sup> Cette installation se situe à proximité du Centre de stockage de la Manche.

<sup>18</sup> Extension des entreposages des verres de La Hague

Une partie des CU3 en attente de conditionnement est entreposée sur l'INB n° 72 de Saclay (91) ; cela comprend des combustibles des réacteurs de recherche Orphée et Osiris de Saclay et des combustibles provenant du réacteur EL4 de Brennilis (29). D'autres CU3 en attente de conditionnement sont entreposés dans diverses installations à Cadarache (PEGASE, CARES, INB n° 55). Progressivement, ces divers combustibles seront conditionnés dans l'atelier STAR de Cadarache avant d'être placés dans CASCAD.

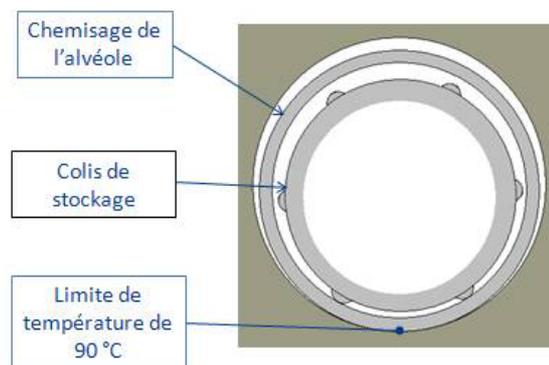


*Casemate d'entreposage à sec de Cadarache (CASCAD) : au milieu, cellule de maintenance des colis, à droite, vue rapprochée des têtes de puits d'entreposage [source CEA]*

#### ➤ Température dans les déchets et dans le stockage

Dans le stockage, la température ne doit pas excéder 90 °C à la paroi argileuse de l'alvéole de stockage (voir la figure ci-dessous) et 100 °C au contact du colis. Ces limites de température ont été fixées au regard de la sûreté du projet. Elles évitent une modification minéralogique de l'argile et permettent de maîtriser l'ensemble des phénomènes.

Une fois placés en stockage, l'évacuation de la chaleur dégagée par les colis HA s'effectue par conduction dans la roche argileuse. Ce mode d'évacuation est totalement passif, il ne nécessite aucun dispositif électromécanique. Contrairement aux installations d'entreposage des déchets HA, il ne repose pas sur la convection de l'air de ventilation. Dans ce contexte, le comportement thermique des déchets et des alvéoles de stockage n'est pas impacté par l'étape de fermeture où se trouve l'alvéole (alvéole obturée ou non, galerie d'accès à l'alvéole fermée ou non) ; l'évolution dans le temps de la température des colis et des alvéoles ne dépend pas du calendrier de franchissement de ces étapes.

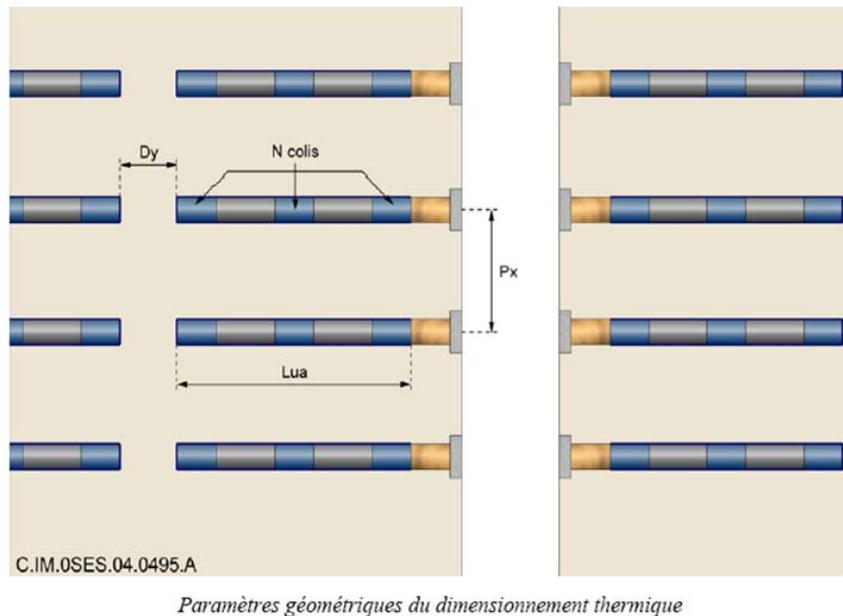


*Limite de température pour le dimensionnement du stockage des déchets HA*

Compte tenu de la conductivité thermique des argilites et de la géométrie des colis de déchets HA, les limites de température en stockage interdisent en pratique d'introduire tout colis dont la puissance thermique serait supérieure à 500 watts, d'où la nécessité d'un entreposage préalable de 60 à 70 ans des colis fortement exothermiques produits à La Hague (colis types C1, C5 et C6).

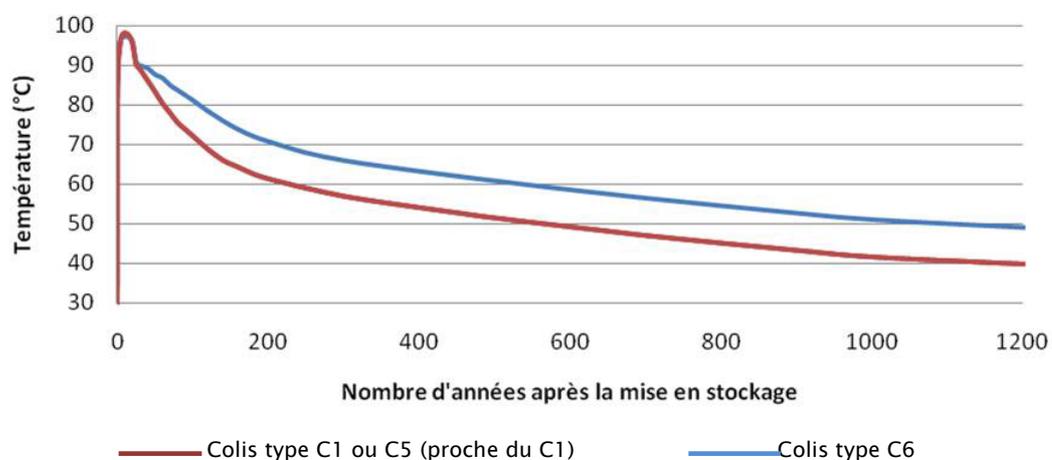
Il faut aussi assurer une dissipation de la chaleur résiduelle dans la roche en écartant suffisamment les unes des autres les sources de chaleur que constituent les colis. C'est pourquoi une géométrie de stockage très compacte comme celle envisagée pour les déchets MAVL ne serait pas acceptable pour

les déchets HA. Le dimensionnement thermique des alvéoles de stockage HA consiste à déterminer la disposition des colis dans les alvéoles (espacement éventuel des colis à l'intérieur d'une même alvéole pour en réduire le nombre [N, voir la figure suivante], l'espace non utilisé étant rempli par un «intercalaire» inerte) et les distances à ménager entre les alvéoles [ $P_x$  et  $P_y$ ]. Ces paramètres déterminent l'emprise souterraine du stockage des déchets HA. Pour les colis de type C0, il n'est pas nécessaire d'écartier les colis dans les alvéoles. Pour les colis fortement exothermiques de La Hague (colis types C1, C5, C6), un intercalaire est nécessaire avec une durée préalable d'entreposage de 60 à 70 ans. Il est à noter qu'un allongement de la durée d'entreposage conduirait à rapprocher ces colis.



Pour les colis de type C0 tels que les verres AVM décrits plus haut (colis-type C0.3), le stockage pourrait être réalisé sans attendre et sans qu'il n'y ait besoin d'intercalaires. La température maximale de 90 °C serait atteinte 10 à 12 ans après la mise en place des colis. La température décroîtrait ensuite, pour atteindre 50 °C au bout d'un siècle environ.

La figure suivante illustre l'évolution de la température au contact des colis fortement exothermiques produits à La Hague, à partir de leur mise en stockage, soit après 60 à 70 ans d'entreposage en surface. Après avoir atteint un maximum après 10 à 12 années, la température décroîtrait progressivement, plus lentement que dans le cas des C0. Ainsi une température de 50 °C serait atteinte au bout de 500 à 1 000 ans selon les types de colis.



Evolution de la température au contact des colis HA fortement exothermiques à partir de leur mise en stockage

## 5.2 Bétons

Les bétons sont prévus pour revêtir les parois des galeries d'accès aux alvéoles (HA et MAVL) et celles des alvéoles de stockage des déchets MAVL. Le choix de ce matériau et le dimensionnement mécanique du revêtement (épaisseur de béton) confèrent une grande durabilité à ces ouvrages et évitent qu'ils ne se déforment sous le poids des terres, sur une échelle de temps au moins séculaire. Ces ouvrages sont comparables à des tunnels routiers ou ferroviaires. Le béton est aussi étudié pour réaliser des conteneurs de stockage robustes et également durables pour les déchets MAVL<sup>19</sup>.

Tous les bétons mis en œuvre seront protégés d'une élévation de température supérieure à 70 °C, qui pourrait altérer ces bétons dans le temps.

Ceux utilisés dans les galeries d'accès aux alvéoles sont suffisamment éloignés des déchets pour respecter largement ce critère.

Ceux utilisés dans les alvéoles de stockage des déchets MAVL (revêtement et conteneurs) se trouvent en revanche au voisinage immédiat des déchets. La plupart des déchets MAVL ne présentent pratiquement pas de dégagement de chaleur, la température y sera donc proche de la température ambiante dans la roche, soit environ 22 °C.

Certains déchets MAVL présentent néanmoins un faible dégagement thermique (en particulier les structures métalliques des combustibles usés séparées lors du retraitement). La puissance thermique moyenne des colis primaires MAVL doit être inférieure à environ 15 watts pour que la température des bétons n'excède pas la valeur maximale de 70 °C. Une part importante de la puissance thermique étant due aux désintégrations du cobalt-60, de période<sup>20</sup> radioactive 5,3 ans, ce critère de puissance thermique est respecté après un entreposage de quelques années. Une fois déterminée la géométrie des colis de stockage (qui regroupent plusieurs colis primaires) et de l'alvéole, un calcul thermique est réalisé pour vérifier le respect du critère de température maximale des bétons.

---

<sup>19</sup> Pour mémoire, le revêtement des alvéoles de stockage HA et les conteneurs de stockage de ces déchets sont prévus en acier de forte épaisseur, matériau également résistant aux déformations mécaniques et de grande durabilité en situation de stockage.

<sup>20</sup> Ou « demi-vie » (la radioactivité décroît de 50 % au bout d'une période ou demi-vie radioactive.)

## 6. Surveillance

### 6.1 Système de surveillance

#### *Commentaires ou questions de la Commission*

*« Systèmes de surveillance : l'Andra a créé un groupement de laboratoires chargé de renforcer la démonstration de la faisabilité d'un système de surveillance opérationnel sur toute la période de réversibilité, aux moyens de capteurs, de mesures par fibres optiques, de mesures chimiques, de transmission sans fil.*

*Modalités, conditions et limite du système de surveillance ? Incidences des forages parallèles aux alvéoles ?*

#### **Réponses ou commentaires de l'Andra**

Pour rendre le système de surveillance fiable, l'Andra envisage notamment de faire appel à des approches complémentaires, des redondances multiples de moyens mis en place et une démarche de qualification approfondie des systèmes.

La sélection de moyens et de techniques de mise en œuvre s'attache à limiter leur caractère intrusif des (« discrétion »), de telle sorte que leur présence ne perturbe pas le bon fonctionnement du stockage. Le système d'observation-surveillance étant prévu dès la conception des ouvrages, le dimensionnement des structures prendra en compte la présence des dispositifs d'auscultation intégrés dans les ouvrages (dont les câbles). Des forages dédiés à l'instrumentation au voisinage des ouvrages de stockage n'ont pas d'incidence sur le confinement des déchets dès lors que, au moment de la fermeture, le volume laissé vide dans ces forages reste limité (ou que ce volume puisse être rebouché ultérieurement).

De nombreuses étapes de qualification de technologies ont été engagées courant 2008 et se poursuivent actuellement. Par exemple, des capteurs à fibre optique permettant de réaliser des mesures réparties de déformations ont été noyés dans le dallage de l'Espace technologique du Centre de Meuse/Haute-Marne et en surface d'une poutre métallique de la charpente à l'été 2008. En septembre 2008, trois dispositifs destinés à évaluer la teneur en eau du béton ont été noyés dans le béton de remplissage de l'ouvrage R04E15 au CSFMA ; plus précisément, une unité complète d'auscultation du béton y a été mise en œuvre. Deux démonstrateurs importants seront réalisés au Laboratoire souterrain : l'instrumentation du chemisage métallique d'un ouvrage type « alvéole HA », l'instrumentation d'une section de galerie à revêtement béton type MAVL. Par ailleurs, le durcissement des technologies aux radiations est engagé, tant pour les capteurs récents à base de fibres optiques, que pour des capteurs très éprouvés tels que les extensomètres à corde vibrante.

Les nouveaux développements à partir de fin 2010 poursuivent et complètent ceux déjà engagés. D'une part, plusieurs instrumentations innovantes font l'objet d'études approfondies dans le cadre d'un groupement de laboratoires fédérant universités, établissements publics et des entreprises autour de la thématique des moyens et stratégies d'auscultation. Par exemple, la teneur en hydrogène de l'atmosphère des alvéoles est un paramètre important. Or, les capteurs existants nécessitent une maintenance et/ou des étalonnages réguliers. Plusieurs études sur des capteurs chimiques sont en cours, en particulier le développement d'un spectromètre miniature à base de nanotechnologies, qui pourrait dans l'avenir permettre de pallier cette limitation.

## 6.2 Transmissions sans fil

### *Commentaires ou questions de la Commission*

*Surveillance : où en est la recherche du démonstrateur de transmissions sans fil à travers les argilites ?*

### Réponses ou commentaires de l'Andra

Il est possible de mettre en œuvre un système de transmission sans fil à travers les scellements ou bien de manière plus prospective à travers les terrains depuis le fond jusqu'à la surface. Un projet de recherche commun entre l'Andra et l'agence japonaise de gestion des déchets RWMC ainsi que des essais réalisés au laboratoire souterrain suisse du GRIMSEL sont dédiés à ce thème.

L'énergie nécessaire au fonctionnement reste une limite technologique. A ce jour, pour alimenter en énergie les émetteurs d'ondes électromagnétiques, des batteries peuvent assurer un fonctionnement jusqu'à quelques décennies. Outre une durabilité nécessairement limitée, des batteries posent la question de leur résistance au rayonnement et à la température si elles sont placées au voisinage immédiat des colis.

Aussi deux problématiques concernant l'alimentation en énergie sont abordées de manière concomitante :

- maîtriser le rechargement d'accumulateurs intégrés dans des systèmes de transmission sans fil placés dans l'alvéole, à partir de la galerie d'accès à cette alvéole,
- posséder la technologie de stockage d'énergie sur une grande période.

Des avancées technologiques récentes telles que les antennes « Very Low Frequency », les techniques sans fil « Ultra-Wide-Band » ou les nanotechnologies ouvrent des perspectives prometteuses dans ces domaines. Des suivis bibliographiques détaillés ont permis d'identifier les bases des études à lancer dans les années à venir

En complément à ces travaux sur la transmission sans fil à travers les scellements ou la roche, l'Andra a mis en place un partenariat avec le Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes, Université de Toulouse (LAAS-CNRS) pour comprendre et évaluer l'influence du milieu confiné sur les transmissions sans fil dans les ouvrages souterrains. L'étude vise à optimiser l'architecture de transmission en prenant en compte l'environnement contraint et confiné d'un tunnel, où la géométrie des éléments métalliques (éventuels cintres, armatures ou mêmes barrières de sécurité) ainsi que la courbure des parois ou l'obturation du tunnel peuvent induire, à certaines fréquences de transmission, des zones d'ombre et de focalisation de l'énergie électromagnétique. Pour cela, il sera développé un modèle de propagation dans le stockage, ajusté à la réalité à partir de mesures de transmissions effectuées à l'été 2009 au Laboratoire souterrain.

## 6.3 Contrôle des colis en surface

### *Commentaires ou questions de la Commission*

*La commission rappelle que la surveillance se comprend également comme le contrôle en surface des colis destinés au stockage, avec la possibilité de refuser un colis non-conforme.*

### Réponses ou commentaires de l'Andra

Le contrôle des colis en surface fait partie de la démarche de sûreté. Les colis de déchets seront ainsi contrôlés (i) avant l'expédition des colis vers le centre de stockage et (ii) avant la mise en stockage proprement dite (prélèvement de colis reçus sur le site de stockage, analyses pour vérifier les principaux paramètres de sûreté, pour l'exploitation comme à long terme...) ; cela comprend les déchets eux-mêmes mais aussi les conteneurs et les matrices dans lesquels les déchets sont conditionnés.

Sans attendre ces contrôles préalables à l'acceptation en stockage, une surveillance des colis est réalisée dès leur production, puis poursuivie en entreposage.

Le dispositif fait appel à de multiples modes de contrôles comme c'est déjà le cas pour les colis de déchets de faible et moyenne activité à vie courte stockés au centre de l'Aube. En particulier la surveillance exercée par l'Andra est indépendante de celle réalisée par les producteurs sur leur propre production à différentes étapes (fabrication, entreposage et désentreposage du colis) et de celle exercée par l'Autorité de sûreté nucléaire.

Au final un colis ne sera stocké que s'il est démontré conforme aux exigences des spécifications d'acceptation en stockage (exigences telles que la résistance à la hauteur maximale de chute, le volume de vides résiduels, l'intégrité du conteneur, le débit de gaz, le niveau de contamination externe, le débit de dose) et qu'il aura répondu à l'ensemble du processus de surveillance et de contrôle depuis sa production.

La démarche de surveillance de l'Andra sur les colis de déchets HA et MAVL a été initiée au début des années 1990. Le cadre général ainsi que les actions de la surveillance sont formalisés dans des protocoles d'accord entre l'Andra et les producteurs en 1997.

La surveillance s'exerce en premier lieu en amont du démarrage d'une production, par l'analyse de la spécification de production et des documents relatifs au processus de fabrication et de contrôle des colis, réalisé dans le cadre de l'avis que l'Andra doit transmettre à l'Autorité de sûreté nucléaire, conformément au code de l'environnement modifié par la loi du 28 juin 2006. Cette analyse documentaire est complétée, au démarrage de la production, par un audit des dispositions d'assurance qualité mises en œuvre par le producteur relativement au processus de fabrication et de contrôle des colis.

L'Andra réalise un suivi des productions en cours, sur les processus de fabrication et de contrôle des colis de déchets, notamment au travers des modifications d'installations ayant une influence sur la qualité des colis, des écarts et constats pouvant conduire à des non-conformités des colis par rapport à leurs spécifications de production. Le suivi intègre les évolutions des dispositions d'assurance qualité associées aux processus précités.

Par ailleurs, l'Andra mène à intervalles réguliers des audits qualité et des audits produit processus dans les différents ateliers et installations producteurs de déchets et participe, en tant qu'observateur, à des missions de surveillance (audits ou inspections) réalisées soit par les entités internes au producteur chargées de la qualité, soit pour le site de La Hague par l'organisme de contrôle mandaté par les clients d'AREVA. L'Andra exerce également une surveillance de cet organisme de contrôle.

Des missions techniques spécifiques sur les conditions d'entreposage et d'archivage viennent compléter les différents moyens mis en œuvre actuellement par l'Andra pour assurer la surveillance des colis en cours de production et après production.

## 6.4 Surveillance et intervention

### *Commentaires ou questions de la Commission*

*Qui pourrait (et comment) savoir si il y a problème, quels types de problèmes, comment le traiter quand il aurait été identifié ?*

### **Réponses ou commentaires de l'Andra**

La sûreté des installations nucléaires comprend systématiquement une surveillance permanente de tous les paramètres importants. Lorsqu'un écart est détecté, l'impact de celui-ci est évalué, et si des conséquences inacceptables apparaissent au regard des objectifs de sûreté, une intervention doit être mise en œuvre afin de ramener l'installation dans un domaine de fonctionnement normal. Cette pratique sera applicable au centre de stockage, pour lequel la nature des interventions peut aller jusqu'au retrait de colis. Ce type d'approche s'applique classiquement à des dysfonctionnements électriques ou mécaniques pendant l'exploitation (défaut de ventilateur ou d'appareil de manutention par exemple), avec l'objectif de détecter les écarts le plus en amont possible pour en limiter les conséquences et simplifier autant que possible l'intervention à réaliser. Dans un stockage, compte tenu des durées concernées, cette approche concernerait aussi une évolution anormale des structures de génie civil ou de conteneurs (déformations excessives par exemple) voire la détection de substances radioactives non confinées. La possibilité d'effectuer des interventions est prise en compte dans la conception des installations.

## 7. Mémoire du site

### *Commentaires ou questions de la Commission*

*« Mémoire du site : la sûreté d'un stockage repose, selon l'Andra, sur la capacité de la roche à confiner les déchets passivement sur une très longue durée. Mais l'Andra travaille à la possibilité de conserver la mémoire du site sur une durée minimale de 500 ans. Là encore, pour la commission, la mémoire comporte à la fois la connaissance de l'existence du site et la connaissance de ce qu'il y a dans le site.*

*Modalités de conservation de la mémoire (au delà de 500 ans) ? et quel est l'avancement des recherches internationales sur ce sujet ? »*

### **Réponses ou commentaires de l'Andra**

La mémoire à long terme mise en place pour les centres de surface permet d'en conserver la mémoire sur une durée minimale de cinq siècles. 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).

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.

#### ➤ **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 pratiques, 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 pour y répondre.