

**IRSN**INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**Avis de l'Institut de radioprotection et  
de sûreté nucléaire sur le « Dossier  
2009 - Projet HA-MAVL » et sur le  
« DAIE » du laboratoire de recherche  
souterrain de Meuse/Haute-Marne**

**RAPPORT IRSN/2010-00002**

**Réunion du groupe permanent d'experts pour les déchets  
des 29 et 30 novembre 2010**



## RESUME

Le présent rapport constitue l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le Dossier 2009 de l'Andra relatif au projet de centre de stockage de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA-MAVL) en formation géologique profonde et sur la demande de renouvellement de l'autorisation d'exploitation du laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne (DAIE). Le Dossier 2009 a été transmis conformément au décret n°2008-357 du 16 avril 2008 relatif au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Il comprend les options de conception, de sûreté et de réversibilité du stockage. Il présente également les grandes lignes de la stratégie d'entreposage en complément du stockage, ainsi qu'une mise à jour du modèle d'inventaire des déchets.

De l'évaluation des dossiers transmis, l'IRSN retient les principaux éléments suivants.

Les hypothèses retenues pour établir le modèle d'inventaire des colis de déchets (MID) sont globalement pertinentes au regard des scénarios de production des déchets envisagés par l'Andra.

S'agissant des risques associés à la phase d'exploitation du stockage, l'Andra a développé depuis 2005 son analyse et décrit l'approche et les dispositions principales retenues pour maîtriser ces risques. A cet égard, l'IRSN relève en particulier que :

- pour ce qui concerne les colis de déchets MAVL, la stratégie retenue par l'Andra est que le colis primaire assure le confinement des déchets dans les diverses situations susceptibles d'être rencontrées en exploitation. L'IRSN approuve cette démarche qui consiste à assigner au colis primaire le rôle de première barrière de confinement, au moins pour les colis à produire. Toutefois, aucune exigence de sûreté n'a été définie à ce stade pour les barrières constituant le deuxième système de confinement statique. En outre, la possible défaillance du confinement assuré par le colis primaire n'est pas retenue en tant qu'hypothèse à prendre en compte pour dimensionner ce deuxième système. L'approche retenue par l'Andra apparaît donc fragile en l'état actuel. A cet égard, l'Andra s'est engagée à définir, dans le dossier accompagnant la DAC, les exigences de sûreté associées à la deuxième barrière de confinement statique en tenant compte notamment de la défaillance du colis primaire ;
- l'Andra ne retient pas de disposition visant à assurer un confinement dynamique de la radioactivité dans l'installation souterraine. Il doit donc être démontré que toute possibilité de contamination des locaux est exclue. L'IRSN estime qu'une telle démonstration sera difficile à apporter pour l'ensemble des situations de fonctionnement envisageables et recommande en conséquence que soient précisées, dans le dossier accompagnant la DAC, les dispositions qui permettraient de confiner l'activité relâchée dans des secteurs à définir, en cas de défaillance du confinement statique des déchets ;
- l'Andra adopte le principe de séparation physique des flux (air, personnel, engins...) afin de maîtriser les risques liés à la concomitance des activités nucléaires et de construction dans les installations souterraines. L'analyse de sûreté associée à cette co-activité n'a toutefois pas été réalisée. Compte tenu des agressions potentielles pouvant provenir des activités de construction du stockage, l'IRSN estime indispensable que cette analyse soit présentée dans le dossier accompagnant la DAC, et en particulier que les exigences de sûreté et les paramètres principaux du dimensionnement des séparations physiques (sas, gaines...) entre les zones d'activité, soient précisés.

Pour ce qui concerne les autres risques associés à l'exploitation du stockage, l'IRSN n'a pas identifié d'incompatibilité entre les concepts retenus par l'Andra et la possibilité de mettre en œuvre en temps voulu les dispositions spécifiques de sûreté permettant de maîtriser ces risques. De nombreux points resteront néanmoins à

préciser à l'échéance de la DAC. En particulier, l'IRSN recommande que l'Andra complète l'analyse des risques liés à l'incendie en présentant les dispositions complémentaires visant à éteindre un feu dans les zones où une intervention humaine ne pourrait pas être entreprise et justifie que les dispositions mises en œuvre permettront d'exclure un scénario qui conduirait à la reprise de réactions exothermiques à l'intérieur de colis de boues bitumées. De même, l'exclusion de tout risque d'explosion dans les installations souterraines devra être dûment justifiée. L'IRSN note enfin que les principes de sûreté et les exigences appliquées aux composants destinés à maîtriser les risques liés au transfert et à la manutention des colis de déchets dans les installations souterraines sont globalement cohérents avec les bonnes pratiques en matière de gestion de ces risques dans les installations nucléaires classiques. Néanmoins, l'analyse de l'Andra nécessite d'être complétée par l'étude de situations de blocage de la chaîne cinématique de stockage des colis ainsi que par les dispositions retenues pour prévenir ces situations et en limiter les conséquences.

Sur la base des compléments attendus, il conviendra que l'Andra consolide sa démarche de dimensionnement de l'installation en justifiant notamment que les scénarios retenus pour ce dimensionnement sont bien enveloppes de l'ensemble des situations envisageables de fonctionnement du stockage.

S'agissant de la maîtrise à long terme des risques associés à l'évolution du stockage, après sa fermeture, certaines options de conception ont été modifiées par rapport à celles retenues en 2005. Ces modifications, motivées par les contraintes d'exploitation du stockage, concernent principalement l'architecture de l'installation (descenderie retenue en tant qu'option de référence, réalisation d'alvéoles MAVL « passantes » pour permettre leur ventilation, allongement de ces alvéoles...) ou des dispositions associées à la manutention des colis et le passage des équipements (maintien d'un insert en tête d'alvéole HA, élargissement des galeries de transfert...). L'IRSN estime que dans l'ensemble, ces évolutions ne sont pas de nature à modifier ses conclusions sur la faisabilité du stockage à l'issue de l'examen du Dossier 2005. L'IRSN constate toutefois que si des progrès ont été réalisés depuis 2005, les connaissances acquises sur la compréhension de l'endommagement de la roche autour des grands ouvrages et sur la mise en œuvre des scellements ne sont pas suffisantes pour démontrer à elles seules la maîtrise de la sûreté de ces ouvrages. Aussi, l'IRSN estime que la réalisation de démonstrateurs *in situ* destinés à qualifier ces ouvrages est nécessaire et que les demandes formulées en 2005 en ce sens par l'ASN restent d'actualité.

L'IRSN relève que les résultats des démonstrateurs de scellements ne seront pas disponibles avant la DAC. Aussi, en parallèle de la poursuite des études en cours visant à qualifier les concepts de scellement retenus à ce jour, l'IRSN recommande que l'Andra présente, comme alternative pour la DAC, des concepts plus simples, et pour lesquels suffisamment d'éléments probants quant à la démonstration de leur faisabilité industrielle pourront être réunis à l'échéance de la DAC. Concernant les démonstrateurs d'ouvrages de grande dimension, l'IRSN relève que leur réalisation n'est pas prévue. L'IRSN considère que la qualification de tels ouvrages en vue de leur mise en exploitation reste subordonnée à la réalisation préalable d'un démonstrateur *in situ*. Il appartiendra à l'Andra de déterminer, dans les meilleurs délais et en tout état de cause à l'échéance de la DAC, dans quel cadre et à quelle échéance un tel démonstrateur sera réalisé.

L'IRSN a également examiné les études présentées par l'Andra concernant les installations de surface et les besoins d'entreposage. Ces points n'appellent pas de remarque de fond.

En outre, les contraintes liées à la réversibilité sont intégrées à la démarche générale de conception et d'exploitation du stockage et l'Andra pose les principes d'un processus décisionnel associé à sa mise en œuvre. A ce stade, ceci n'appelle pas de remarque de fond de la part de l'IRSN.

En conclusion, le Dossier 2009 est un dossier d'étape qui fournit un point sur l'état d'avancement du projet de stockage développé par l'Andra. L'IRSN relève cependant que certains éléments de la démonstration de sûreté ne

pourront être apportés qu'après la date de dépôt de la DAC en 2014. Au regard de la durée séculaire de l'exploitation du stockage, l'IRSN estime que ceci n'est pas rédhibitoire, dans la mesure où la réalisation de différentes parties du stockage peut faire l'objet de demandes d'autorisation spécifiques étalées dans le temps. Dans cette logique de réalisation progressive, l'Andra a indiqué être en mesure de fournir, à l'échéance de la DAC, un avant projet sommaire, avec l'approfondissement de certains points, pour la réalisation d'une première tranche du stockage. L'IRSN considère que cette approche est acceptable à condition de présenter dans le dossier accompagnant la DAC, pour les premiers ouvrages construits, au moins les ouvrages de liaison jour-fond, une démonstration de sûreté s'appuyant sur un avant projet détaillé. L'avant projet sommaire relatif aux ouvrages qui seront construits ultérieurement devra quant à lui être suffisamment détaillé pour permettre de statuer sur la possibilité d'exploiter et de fermer de manière sûre le stockage sans remettre en cause le dimensionnement des premiers ouvrages construits.

De manière générale, il conviendra que l'Andra précise les différentes phases de réalisation du stockage et les échéances auxquelles elle sera en mesure de fournir une démonstration de sûreté en support de la demande d'autorisation de réalisation de chacune de ces phases, possiblement appelées dans le décret de création de l'installation.

S'agissant enfin du dossier de DAIE, l'IRSN considère que moyennant la prise en compte des remarques précédentes, les objectifs du programme de recherche sont pertinents et que la poursuite des expérimentations et essais dans le laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne est en tout état de cause nécessaire au regard des démonstrations qui devront être apportées dans la suite du projet.

## TABLE DES MATIERES

RESUME .....	3
1 CONTEXTE .....	9
2 MODELE D'INVENTAIRE DES COLIS DE DECHETS.....	12
3 DEMARCHE DE SURETE .....	14
3.1 DEMARCHE DE SURETE POUR LA PHASE D'EXPLOITATION.....	15
3.2 DEMARCHE DE SURETE POUR LA PHASE DE POST-FERMETURE.....	18
4 DESCRIPTION GENERALE DU SITE ET DES INSTALLATIONS .....	19
4.1 SITE ET OPTIONS DE CONCEPTION .....	19
4.1.1 Secteur de Meuse/Haute-Marne .....	19
4.1.2 Les colis, conteneurs et hottes de transfert .....	22
4.1.3 Les concepts de stockage .....	24
4.2 FONCTIONNEMENT NORMAL DE L'INSTALLATION .....	31
4.2.1 Fonctions exercées par l'installation.....	31
4.2.2 Flux dans les installations souterraines en fonctionnement normal .....	33
5 EVALUATION DE SURETE EN PHASE D'EXPLOITATION .....	40
5.1 ANALYSE DES RISQUES DANS LES INSTALLATIONS DE SURFACE.....	40
5.1.1 Installations nécessaires au processus de stockage.....	40
5.1.2 Installations d'entreposage .....	40
5.2 ANALYSE DES RISQUES D'ORIGINE INTERNE DANS LES INSTALLATIONS DE LIAISON JOUR-FOND ET SOUTERRAINES.....	42
5.2.1 Risques liés à la dissémination de matières radioactives .....	42
5.2.2 Risques liés à l'exposition interne et externe .....	46
5.2.3 Risques liés à l'évolution des matériaux.....	48
5.2.4 Risques de criticité.....	53
5.2.5 Risques liés à l'incendie et à l'explosion .....	55
5.2.6 Risques liés aux opérations de manutention .....	65
5.2.7 Risques liés à la gestion des eaux et à l'inondation d'origine interne.....	69
5.2.8 Risques liés aux activités humaines .....	70
5.2.9 Risques liés à la perte d'auxiliaires .....	75
5.3 ANALYSE DES RISQUES D'ORIGINE EXTERNE DANS LES INSTALLATIONS DE LIAISON JOUR-FOND ET LES INSTALLATIONS SOUTERRAINES .....	77
5.3.1 Risques liés aux séismes.....	77
5.3.2 Hydrogéologie et risques liés à l'inondation externe.....	81
6 EVALUATION DE SURETE EN PHASE DE POST-FERMETURE .....	83
6.1 ANALYSE DES RISQUES DANS LES INSTALLATIONS SOUTERRAINES.....	83
6.1.1 Risque d'origine interne : criticité .....	83
6.1.2 Risque d'origine externe : séismes .....	84
6.2 EVALUATION DES CAPACITES DE CONFINEMENT DU STOCKAGE .....	86
6.2.1 La barrière géologique .....	87
6.2.2 Les barrières ouvragées argileuses .....	101

6.2.3 Les colis de stockage .....	110
6.2.4 Evaluation de la capacité globale de confinement du stockage à long terme.....	112
<b>7 DEMANDE DE RENOUELEMENT DE L'AUTORISATION D'EXPLOITATION DU LABORATOIRE DE RECHERCHE SOUTERRAIN DE MHM (DAIE) .....</b>	<b>117</b>
7.1 PROGRAMME DE RECHERCHE DE L'ANDRA DANS LE LABORATOIRE SOUTERRAIN .....	117
7.2 AVIS DE L'IRSN .....	119
7.3 CONCLUSION .....	123
<b>8 CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>124</b>
ANNEXE 1 - LETTRE ASN/CODEP-DRD-2010-012993 DU 29 MARS 2010 .....	127
ANNEXE 2 - LOI N°2006-739 DU 28 JUIN 2006 .....	131
ANNEXE 3 - DECRET N°2008-357 DU 16 AVRIL 2008 .....	143
ANNEXE 4 - LOI N°2006-686 DU 13 JUIN 2006 .....	149
ANNEXE 5 - DECRET DU 3 AOUT 1999 .....	153
ANNEXE 6 - LETTRE GPD/05-16 DU 15 DECEMBRE 2005 .....	157
ANNEXE 7 - AVIS ASN DU 1ER FEVRIER 2006.....	163
ANNEXE 8 - LETTRE ANDRA DG/10-0324 DU 16 NOVEMBRE 2010 .....	173
ANNEXE 9 - REFERENCES DES DOCUMENTS ET BIBLIOGRAPHIE .....	183
ANNEXE 10 - BESOINS EN TERMES DE CAPACITES D'ENTREPOSAGE.....	187
ANNEXE 11 - INVESTIGATIONS GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES REALISEES PAR L'ANDRA ENTRE 1994 ET 2009.....	191
ANNEXE 12 - EVALUATIONS QUANTITATIVES DE LA SENSIBILITE DU TRANSFERT DES RADIONUCLEIDES DANS LE STOCKAGE A LA VALEUR DU COEFFICIENT DE DIFFUSION DANS LE CALLOVO-OXFORDIEN ...	192

## INDEX DES FIGURES

Figure 1 : Données acquises depuis 1994 dans le secteur de MHM et position de la zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (ZIRA) dans la zone de transposition (ZT).....	20
Figure 2 : Log stratigraphique synthétique et nomenclature des différents zonages et faciès au niveau du laboratoire de MHM (gauche) - Localisation des horizons poreux de l'Oxfordien dans le forage EST201 (droite) .	22
Figure 3 : Exemples de colis de stockage de déchets MAVL .....	23
Figure 4 : Exemple de colis de stockage de déchets HA .....	24
Figure 5 : Exemples de hottes de transfert de colis HA (gauche) et MAVL (droite) .....	24
Figure 6 : Exemple d'architecture possible du stockage avec deux zones d'implantation d'installations de surface	25
Figure 7 : Exemple d'organisation générale du stockage .....	27
Figure 8 : Exemple d'architecture d'une zone MAVL .....	28
Figure 9 : Schéma du module de stockage MAVL en exploitation .....	28
Figure 10 : Exemple d'architecture d'une zone HA.....	29
Figure 11 : Alvéole de stockage de colis HA exothermiques en exploitation .....	29
Figure 12 : Scellement de galeries d'accès à un alvéole de stockage de déchets MAVL.....	30
Figure 13 : Représentations schématiques de scellements .....	31
Figure 14 : Bouchon d'alvéole de stockage de déchets HA .....	31
Figure 15 : Formation d'une pile de colis par le procédé de "pré-empilage" [17] .....	35
Figure 16 : Synoptique du procédé de dépose des colis à l'aide d'un "stockeur à fourches" [17] .....	36
Figure 17 : Implantation des équipements du procédé de stockage avec "pont gerbeur" [17].....	37
Figure 18 : Principe de fonctionnement d'une « chaîne pousseuse » [11] (gauche) - Principe de fonctionnement d'un « robot pousseur » (l'ombilical n'est pas représenté) [11] (droite).....	38
Figure 19 : Illustration de la co-activité dans les installations souterraines [9].....	74
Figure 20 : Schéma conceptuel de l'EDZ (d'après [6]) .....	89
Figure 21 : Fractures liées à l'excavation autour des galeries du laboratoire souterrain de MHM à -490 m [15] .....	90
Figure 22 : Outil de coupe, trousse coupante et train de tige [8].....	94

## INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1. Inventaire en nombre et en volume des colis primaires retenus dans le MID 2009 (d'après [4]) .....	13
Tableau 2. Marges intégrées (en nombre de colis) du scénario SD selon l'état de production des colis .....	13
Tableau 3. Echelle de récupérabilité [1] .....	17
Tableau 4. Barrières de confinement aux diverses étapes de la chaîne cinématique du stockage .....	43
Tableau 5. Critères d'admissibilité définis par l'Andra pour les différentes situations.....	54



Par lettre CODEP-DRD-2010-012993 du 29 mars 2010 (cf. annexe 1), l'ASN a demandé au président du groupe permanent chargé des installations destinées au stockage à long terme des déchets radioactifs (GPD ou « groupe permanent » dans le présent rapport) d'examiner le Dossier 2009 ainsi que le « Mémoire » et le « Cahier des charges » de la DAIE, et en particulier, pour ce qui concerne les installations de stockage, d'examiner :

- « la pertinence du modèle d'inventaire des colis de déchets en fonction notamment des diverses hypothèses retenues par l'Andra sur les prévisions de production des déchets ;
- les options de conception et dispositions générales retenues par l'Andra eu égard à la sûreté de l'exploitation de l'installation de stockage (installations souterraines et installations de surface associées), tout en tenant compte des éléments relatifs à la réversibilité du processus. [Le GPD examinera] en particulier les exigences de sûreté retenues à ce stade pour le dimensionnement futur de l'installation et les compléments qu'il apparaît nécessaire d'apporter en vue de la [...] DAC ;
- les évolutions de la conception du stockage par rapport à celle retenue en 2005 et leur caractère favorable à la sûreté du stockage après sa fermeture ;
- les options de réversibilité retenues, notamment le processus décisionnel associé, eu égard à la sûreté de l'installation en exploitation et après fermeture ;

[en vérifiant] également la prise en compte par l'Andra des recommandations formulées par l'ASN, notamment à l'issue de l'examen du Dossier 2005 ». L'ASN demande en outre au groupe permanent d'examiner « la pertinence du programme d'expérimentations prévu dans le laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne eu égard à sa capacité d'apporter en temps voulu les éléments nécessaires à la démonstration de la sûreté du stockage et de la faisabilité technique des options retenues, et la cohérence de son planning avec le calendrier de développement du projet du stockage (DAC, construction, mise en service...) ». Enfin, l'ASN souhaite que le groupe permanent examine « les options de sûreté retenues pour les installations de surface et les options de gestion des entreposages des colis préalablement à leur stockage eu égard aux capacités existantes ou prévues par les principaux exploitants ».

## 1 CONTEXTE

La loi de programme n°2006-739 du 28 juin 2006 (cf. annexe 2) et le décret n°2008-357 du 16 avril 2008 (cf. annexe 3) fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) disposent notamment que l'Andra dépose au plus tard fin 2014 une demande d'autorisation de création (DAC) d'un centre de stockage de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA-MAVL) en formation géologique profonde, en vue d'être instruite en 2015. Le décret n°2008-357 précité demande à l'Andra de proposer, fin 2009, aux ministres chargés de l'énergie, de la recherche et de l'environnement :

- une zone d'intérêt restreinte propice à l'implantation d'un stockage, sur laquelle seront mises en œuvre des techniques d'exploration approfondies ;
- des options de conception, de sûreté opérationnelle et à long terme et de réversibilité ;
- un modèle d'inventaire des déchets à prendre en compte ;
- des options d'entreposage en complément du stockage.

Ce décret fixe également les grands jalons de choix de site associés à la loi du 28 juin 2006 précitée et en précise les étapes. Dans le « Dossier 2005 Argile<sup>1</sup> » (dénommé « Dossier 2005 » dans le présent rapport), l'Andra a proposé

---

<sup>1</sup> Le « Dossier 2005 Argile » a été établi par l'Andra dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991 dite « loi Bataille », relative à la gestion des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue. Ce dossier a fait l'objet d'un examen par l'IRSN, présenté les 12 et 13 décembre 2005 devant le groupe permanent chargé des installations destinées au stockage à long terme des déchets

une « zone de transposition » (ZT) d'environ 250 km<sup>2</sup>, située au Nord du laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne (MHM), sur la base des résultats acquis à l'époque, en vue de l'implantation de l'installation de stockage, conformément au décret n° 2008-357 précité. Après avoir mené des investigations complémentaires courant 2007 et 2008 à l'intérieur de la ZT, l'Andra a retenu en 2009 une zone plus restreinte (30 km<sup>2</sup>) nommée ZIRA (zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie), en vue de l'implantation de l'installation. L'approbation du choix de la ZIRA par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a été notifiée par lettre n° 2010-AV-0084 du 5 janvier 2010.

Par ailleurs, le décret précité demande à l'Andra de remettre, d'ici fin 2012, un dossier support à l'organisation du débat public relatif à l'implantation du centre de stockage, prévu par l'article L.542-10-1 du code de l'environnement.

L'Andra a transmis par lettre Andra/DG/10-0013 du 19 janvier 2010 le « Dossier 2009 - Projet HA-MAVL » (dénommé « Dossier 2009 » dans le présent rapport) à l'ASN, comprenant :

- les « options de sûreté du stockage en formation géologique profonde » [1] ;
- les « options de conception du stockage en formation géologique profonde » [2] ;
- les « options de réversibilité du stockage en formation géologique profonde » [3] ;
- le « référentiel de connaissances et modèle d'inventaire des colis de déchets à haute activité et à moyenne activité à vie longue » [4] ;
- l'« inventaire des capacités d'entreposage existantes, état d'avancement des études de concepts d'entreposage, propositions d'options à étudier après 2009 » [5].

Des versions à l'indice B des documents [1] et [3] ont été transmises à l'IRSN respectivement par lettres DMR/SN/10-0027 du 16 mars 2010 et DMR/SN/10-0031 du 22 mars 2010, qui annulent et remplacent les versions à l'indice A. Ces versions à l'indice B font seules l'objet de la présente analyse.

Par ailleurs, l'Andra a également adressé à l'ASN, par lettre Andra/DG/10-0013 précitée, un « Mémoire » [6] et un « Cahier des charges » [7] associés à la demande de renouvellement de l'autorisation d'exploitation (DAIE) du laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.

Le présent rapport constitue l'avis de l'IRSN relatif au Dossier 2009 de l'Andra et aux documents associés au DAIE, qui sera présenté lors la réunion du groupe permanent des 29 et 30 novembre 2010. Conformément à la saisine du groupe permanent de l'ASN (cf. annexe 1), le présent rapport identifie les éléments nouveaux apportés par l'Andra, depuis le Dossier 2005, présentés dans le Dossier 2009 ou au cours de l'instruction (cf. annexe 9), et identifie certains éléments qui devront apparaître dans le dossier accompagnant la demande d'autorisation de création du stockage qui devront être transmis, selon le décret 2008-357 précité, au plus tard fin 2014.

Dans le Dossier 2009, l'Andra considère trois phases successives de développement du stockage après la DAC, faisant suite à une première phase de conception des installations :

- la phase de construction des accès et des premiers modules de stockage, pendant laquelle aucune matière nucléaire n'est mise en jeu ;
- la phase d'exploitation du stockage, qui comprend des activités simultanées d'exploitation nucléaire et de construction ;
- la phase de post-fermeture, après la fermeture des liaisons jour-fond du stockage, désignée également par « long terme ».

---

radioactifs. Le groupe permanent avait conclu à la faisabilité d'un stockage de déchets radioactifs dans une formation géologique telle que celle étudiée dans la région de Meuse/Haute-Marne. A la suite de l'avis et des recommandations du groupe permanent (cf. annexe 6), l'ASN a publié le 1<sup>er</sup> février 2006 un avis sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (cf. annexe 7), qui demande notamment à l'Andra d'apporter des compléments concernant les études sur le stockage en formation géologique profonde, en vue d'établir le dossier de sûreté qui accompagnerait une DAC.

L'examen par l'IRSN de l'inventaire des colis de déchets au stade du Dossier 2009 est présenté au chapitre 2 du présent rapport, celui de la démarche de sûreté mise en œuvre par l'Andra au chapitre 3. Le chapitre 4 décrit succinctement le site et les installations, ainsi que le fonctionnement normal de l'installation. L'examen par l'IRSN des dispositions prises par l'Andra pour garantir la sûreté du stockage pendant la phase d'exploitation et pendant celle de post-fermeture est présenté aux chapitres 5 et 6 respectivement. Enfin, l'IRSN évalue la demande de renouvellement d'exploitation du laboratoire de recherche souterrain de MHM dans le chapitre 7 du présent rapport, en examinant notamment la cohérence du programme de recherche avec les besoins évoqués dans les chapitres 5 et 6. Le chapitre 8 présente la conclusion générale de l'IRSN sur les dossiers en question.

Suite à la réunion préparatoire du 8 octobre 2010, l'Andra a pris un certain nombre d'engagements, transmis par lettre DG/10-0324, qui sont rappelés au fil du texte. Dans cette même lettre, l'Andra indique qu'elle « formulera en 2014 une demande d'autorisation de création portant sur l'ensemble du stockage [...] sur la base d'un dossier présentant :

- une conception d'ensemble du stockage, qui permettra d'asseoir la démonstration de sûreté après fermeture, et de dimensionner les premiers ouvrages qui seront réalisés,
- un premier sous-ensemble de ce stockage [...] désigné comme la « tranche 1 » [qui] correspond aux travaux nécessaires à la mise en service et au démarrage de l'exploitation du centre de stockage (réalisation d'installations d'accueil des colis en surface, des liaisons jour-fond, des équipements support en surface et en souterrain, des premières galeries et alvéoles de stockage) ».

Dans cette lettre, l'Andra précise que « le planning des études de la tranche 1 est contraint d'une part par le calendrier de choix de site (validation du choix de site après le débat public prévu fin 2012) et d'autre part par la future loi sur les conditions de réversibilité, qui interviendra après le dépôt de la demande d'autorisation de création et qui pourra éventuellement conduire à des modifications d'options. Par conséquent, le dossier de la tranche 1, que l'Andra prévoit de déposer en 2014 comportera des études de niveau avant projet sommaire (APS), intégrant des approfondissements détaillés sur les points identifiés comme sensibles dans le dossier « jalon 2009 », i.e. le confinement et la ventilation, la gestion de l'incendie et de la co-activité. [...] Ce dossier sera complété, après la loi sur les conditions de réversibilité, en vue de l'autorisation de création, en intégrant les études de niveau avant projet détaillé (APD) pour la tranche 1 ». L'IRSN considère que cette approche est acceptable à condition de présenter, pour les premiers ouvrages construits, a minima les ouvrages de liaison jour-fond, une démonstration de sûreté s'appuyant sur un avant projet détaillé pouvant être instruite au cours de l'année 2015.

Dans la suite du rapport, les conventions éditoriales sont les suivantes.

En caractères gras : les commentaires ou remarques de l'IRSN.

E | En caractères gras avec un trait vertical dans la marge : les conclusions de l'IRSN ayant fait l'objet d'un engagement de l'Andra à la suite de la réunion préparatoire du 8 octobre 2010 transmis par lettre Andra/DG/10-0324 (cf. annexe 8).

R | En caractères gras encadré : les recommandations de l'IRSN faisant l'objet d'un projet de recommandation du GP.

## 2 MODELE D'INVENTAIRE DES COLIS DE DECHETS

Le « *modèle d'inventaire de dimensionnement* », ci-après dénommé « MID », est établi par l'Andra afin de dimensionner le stockage et évaluer la sûreté de cette installation. La démarche retenue pour l'élaboration du MID consiste à définir des colis virtuels dénommés « *colis-types* », auxquels sont associés un inventaire en nombre et en volume ainsi que des caractéristiques géométriques, radioactives, chimiques et thermiques. Ces données simplifiées sont établies sur la base d'un recensement de connaissances acquises par les producteurs sur les colis produits et à produire et tiennent compte d'hypothèses pour les prévisions de production. Des marges supplémentaires formalisées au travers de scénarios sont par ailleurs appliquées sur les inventaires prévisionnels résultants afin de tenir compte de modes de production futurs potentiels et des incertitudes sur les filières d'élimination de certains déchets. Ces objectifs et la démarche associée, identiques à ceux retenus par l'Andra en 2005, sont satisfaisants sur le principe.

Les déchets destinés au stockage en formation géologique profonde sont les déchets de moyenne activité à vie longue (MAVL) et les déchets de haute activité (HA), produits par les installations de recherche, de défense, de production et de traitement de combustibles, ainsi que de combustibles usés non valorisables. Ainsi, l'inventaire présenté par l'Andra en 2009 prend en compte, conformément au plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR), le traitement de l'ensemble des combustibles irradiés de la filière électronucléaire, seuls les combustibles issus de réacteurs de recherche (CU3) étant destinés au stockage en formation géologique profonde. Le stockage direct de combustibles usés issus de la filière électronucléaire (CU1 et CU2), qui était considéré dans le Dossier 2005, ne l'est donc plus dans le Dossier 2009.

L'inventaire des colis à stocker dépend, pour une part importante, des colis produits et à produire par le traitement des combustibles irradiés dans l'actuel parc de réacteurs nucléaires. Aussi, les principales hypothèses utilisées pour établir l'inventaire des colis-types [4] concernent le nombre, la durée d'exploitation des réacteurs à eau pressurisée du parc nucléaire actuel ainsi que les options de gestion des combustibles à irradier. L'Andra considère 59 réacteurs en fonctionnement durant 40 ans et 17 000 TWh d'énergie électrique nette cumulée en 2052, date théorique d'arrêt du réacteur EPR actuellement en construction. L'IRSN note que l'Andra a complété, par rapport à 2005, son évaluation de la production cumulée d'énergie en tenant compte du réacteur EPR et estime que l'hypothèse retenue d'une production cumulée de 17 000 TWh est cohérente avec la puissance et la durée de fonctionnement retenue pour les 59 réacteurs.

Pour ce qui concerne les scénarios pris en compte dans le MID 2009, l'Andra définit [4] un scénario dit « de base », noté SB, qui comporte un ajout de marges quantitatives par rapport au scénario des exploitants nucléaires et inclut également des déchets dont la filière de gestion n'est pas encore définitivement arrêtée (bitumes anciens les moins actifs de Marcoule, paratonnerres...). Un second scénario, dit « de dimensionnement », noté SD, ajoute au scénario de base, pour certaines familles de déchets (colis de déchets à produire par le traitement des combustibles irradiés), une marge de dimensionnement supplémentaire, fixée conventionnellement à + 50 %. Cette marge couvre un éventuel allongement de la durée d'exploitation du parc engagé (passant de 40 ans à 60 ans), l'exploitation et la déconstruction d'installations futures (prototype de réacteur de quatrième génération par exemple) et des aléas sur les opérations de déconstruction.

Le Tableau 1 [4] résume les prévisions de production et les marges retenues pour chacun des scénarios de la version 2009 du modèle d'inventaire.

	MID 2009			
	Scénario SB		Scénario SD	
	Nombre	Volume (m <sup>3</sup> )	Nombre	Volume (m <sup>3</sup> )
Prévisions de production (déchets produits et à produire)	183 241	75 234	183 241	75 234
Marges appliquées par l'Andra	86 432	32 633	122 267	44 757
Marges/Prévisions	47 %	43 %	67 %	59 %
Total retenu pour le scénario	269 675	107 867	305 510	119 993
Colis à « rattacher » aux colis-types	17,6 %	26,2 %	16,4 %	27,5 %
Répartition du nombre de colis par type de déchets				
Colis de déchets MAVL	218 920	98 871	238 640	107 871
Colis de déchets HA	45 295	8 786	61 410	11 910
Combustibles usés non valorisables	5 460	210	5 460	210

Tableau 1. Inventaire en nombre et en volume des colis primaires retenus dans le MID 2009 (d'après [4])

L'IRSN constate que les marges appliquées ont été modulées en fonction de l'état de connaissances des caractéristiques des colis, les plus importantes concernant des déchets à produire (cf. Tableau 2), et estime que les hypothèses retenues sont prudentes. En particulier, l'Andra anticipe les évolutions envisagées actuellement par EDF à court terme pour ce qui concerne les options de gestion de combustibles, notamment la gestion « HTC2 » qui n'était pas prise en compte dans la version 2005 du MID. Ceci est globalement satisfaisant. Toutefois l'IRSN souligne qu'à ce jour la cadence de traitement de combustibles de type MOX (160 tML/an), utilisée par l'Andra pour établir le MID, n'est pas validée industriellement. D'autres hypothèses tenant compte des moyens industriels disponibles conduiraient à considérer une production de colis dont les caractéristiques thermiques pourraient nécessiter d'adapter la stratégie d'entreposage ou les concepts de stockage (cf. paragraphe 5.1.2 du présent rapport).

Prévisions de production	Répartition	Marges SD/prévisions
Déchets à produire par l'exploitation	23,6 %	141 %
Déchets à reconditionner	13,3 %	130 %
Déchets à produire par le démantèlement	5,2 %	71 %
Déchets à conditionner	25,0 %	26 %
Production en cours	22,7 %	20 %
Production finie	9,1 %	14 %
Déchets reconditionnés	1,0 %	4 %
Total	100,0 %	67 %

Tableau 2. Marges intégrées (en nombre de colis) du scénario SD selon l'état de production des colis

Par ailleurs, l'IRSN constate (cf. [4] et lettre DMR/DIR/10-0080) que 50 % en nombre des colis inventoriés dans le MID 2009 ne sont pas encore « rattachés » à des colis-types car leurs caractéristiques, notamment radiologiques et chimiques, ne sont pas encore disponibles ou n'ont pas été exploitées dans la version 2009 du MID. L'Andra a précisé, au cours de l'instruction, que les colis dont les dossiers de connaissances ne sont pas disponibles représentent 30 % du nombre de colis intégrés dans le scénario SD et ceux dont les dossiers n'ont pas été utilisés (données à consolider, transmission tardive, évolution du mode de conditionnement annoncée par le producteur, colis dits « S5 » et « C5 ») représentent 20 % en nombre. Ainsi, l'IRSN observe qu'une part importante de l'inventaire radiologique, thermique et chimique reste à compléter. A cet égard, l'Andra a précisé au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0080) que les données manquantes seront complétées et consolidées « sur la base des connaissances fournies par les producteurs. Le jeu de données « colis » sera figé fin 2012 pour le dossier de DAC (2014) ».

Enfin, l'IRSN souligne l'importance des données relatives au conditionnement des déchets, qui constitue la première barrière de confinement (cf. paragraphe 5.2.1 du présent rapport). A cet égard, l'IRSN rappelle que d'une part les propriétés de confinement des colis S5 et C5, principalement leur très probable faible résistance à la lixiviation, d'autre part leur contenu chimique (gaz explosibles, forte réactivité des déchets contenus avec les composants ouvragés du stockage et présence de substances complexantes en quantités importantes), sont peu compatibles avec la sûreté à long terme d'une installation de stockage de déchets radioactifs en formation géologique profonde. En particulier, ces colis ne respectent pas les recommandations du guide de sûreté [ASN, 2008] relatif à ce type de stockage.

E1

Aussi, l'IRSN considère que l'Andra devra définir, dans le dossier accompagnant la DAC, les critères de sûreté essentiels pour l'acceptation des colis de déchets dans l'installation de stockage. Le modèle d'inventaire de dimensionnement présenté par l'Andra devra dresser la liste des colis déjà produits qui ne semblent pas respecter ces critères essentiels. L'Andra devra également définir sur cette base, en liaison avec les producteurs, les solutions techniques de conditionnement, disponibles ou devant être qualifiées au moyen d'un programme de R&D, pour que ces déchets ainsi conditionnés puissent être acceptés en stockage.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

### **3 DEMARCHE DE SURETE**

Les objectifs principaux de sûreté de l'installation de stockage retenus par l'Andra [1] sont cohérents avec le guide de sûreté relatif au stockage en formation géologique profonde [ASN, 2008] : « *la protection de la santé des personnes et de l'environnement constitue l'objectif fondamental de sûreté assigné au stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde. Elle doit être assurée envers les risques liés à la dissémination de substances radioactives et de toxiques chimiques* ». L'Andra précise [1] ses objectifs en matière de conception du stockage : « *le stockage géologique est conçu de manière à pouvoir garantir et démontrer la sûreté en exploitation et à long terme tant pour l'homme que pour l'environnement, tout en étant réversible et observable sur une durée d'au moins 100 ans* ».

La démarche de sûreté de l'Andra s'appuie des principes de sûreté qui sont :

- la « *défense en profondeur* »,
- la limitation à un niveau aussi faible que raisonnablement possible des conséquences radiologiques éventuelles de l'installation (principe « ALARA<sup>2</sup> »),
- la « *robustesse* » du stockage, « *permettant de se protéger contre les phénomènes connus (aléatoires), les sources d'incertitudes ou les conséquences d'événements indéterminés* ». Celle-ci « *suppose une sensibilité aux écarts et incertitudes aussi faible que possible* »,
- la « *démontrabilité* » de la sûreté de l'installation, basée sur des « *éléments facilement appréhendables par le public* ».

A ceux-ci s'ajoutent la « *réversibilité et l'évolutivité* » de l'installation, au sens de sa capacité à intégrer le retour d'expérience et les évolutions technologiques futures.

Cette démarche se fonde sur un processus itératif entre conception, acquisition de connaissances et évaluation de sûreté. Cette dernière permet d'évaluer les évolutions possibles du stockage et de vérifier sa robustesse, d'identifier et d'évaluer l'influence des incertitudes ainsi que la manière de les gérer, et permet d'actualiser les orientations de conception et les priorités de recherche. En outre, la démarche retenue met en œuvre des

<sup>2</sup> ALARA : *As Low As Reasonably Achievable*

fonctions de sûreté assurées par différents composants du stockage, qui assurent la sûreté d'ensemble de ce stockage.

L'IRSN relève que les principes et la démarche de sûreté présentés dans le Dossier 2009 sont similaires à ceux présentés dans le Dossier 2005. A cet égard, l'IRSN rappelle que le GPD considérait en 2005 que ces principes et cette démarche de sûreté étaient cohérents avec la RFS III.2.f (révisée en 2008 et transposée en guide de sûreté [ASN, 2008]).

### 3.1 DEMARCHE DE SURETE POUR LA PHASE D'EXPLOITATION

Pendant la phase d'exploitation, l'Andra retient cinq fonctions de sûreté pour l'installation de stockage, identiques à celles présentées dans le Dossier 2005 :

- le confinement des matières radioactives et des toxiques chimiques,
- la protection du personnel et du public contre les rayonnements ionisants,
- la sous-criticité de l'ensemble des matières fissiles,
- l'évacuation de la puissance thermique résiduelle des déchets,
- l'évacuation des gaz de radiolyse.

Comme indiqué par l'IRSN à l'issue de l'examen du Dossier 2005, les fonctions de sûreté retenues n'appellent pas de commentaire de la part de l'IRSN.

A ces fonctions de sûreté « nucléaire » s'ajoutent d'autres objectifs, tels que, par exemple, la protection des travailleurs vis-à-vis des risques classiques liés aux travaux souterrains, qui ne relèvent pas du champ d'expertise de l'IRSN et qui devront, le cas échéant, être examinés par les instances compétentes.

L'Andra présente [1] une première déclinaison des fonctions de sûreté de l'installation de stockage en exigences de sûreté applicables aux options de conceptions retenues, aux modes de construction du stockage, et à son exploitation. L'examen de ces différentes exigences au regard des différents risques analysés fait l'objet des chapitres 5 et 6 du présent rapport.

#### *Scénarios retenus pour le dimensionnement de l'installation*

L'Andra définit un ensemble de scénarios classés comme « de dimensionnement » ou « hors dimensionnement ». L'IRSN constate, d'une part que ces termes ne sont pas définis par l'Andra dans le Dossier 2009, d'autre part que certains scénarios classés « hors dimensionnement » conduisent néanmoins l'Andra à retenir des dispositions participant au dimensionnement de l'installation.

D'une manière plus générale, l'IRSN considère que le Dossier 2009 ne présente pas les justifications permettant de retenir ou d'écarter tel ou tel scénario pour le dimensionnement des composants ouvragés du stockage.

E2.2 | Aussi, l'IRSN considère que l'Andra devra préciser, pour le dossier accompagnant la DAC, les critères de sélection de scénarios « de dimensionnement » ou « hors dimensionnement ». En tout état de cause, l'Andra devra justifier les situations qui ne seront pas retenues pour le dimensionnement de l'installation.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

#### *Démarche de radioprotection*

Pour ce qui concerne la radioprotection des travailleurs et du public, l'Andra retient les risques d'exposition interne et externe aux rayonnements ionisants et aux neutrons, et les prend en compte de manière similaire à ce qu'elle présentait dans le Dossier 2005, en déclinant des exigences applicables aux options de conception

retenues. Ces exigences sont ainsi appliquées [1] aux « *dispositifs et zonage de radioprotection limitant l'exposition des travailleurs [et du public] selon le principe ALARA* » ainsi qu'aux « *dispositifs de surveillance* ». Il est à noter que le Dossier 2005 présentait une démarche d'optimisation de la protection des travailleurs vis-à-vis des risques liés à l'exposition externe ; l'IRSN constate que le Dossier 2009 n'apporte pas de modification à cette démarche. L'Andra indique toutefois [1] que, compte tenu notamment des évolutions du MID (abandon du stockage direct des combustibles usés issus de filière électro-nucléaire), la « *diminution du nombre de postes de travail associés au transfert et stockage* » des colis a pour conséquence directe une « *optimisation de la dosimétrie dans les installations souterraines* ».

La démarche de radioprotection des travailleurs et du public retenue par l'Andra n'appelle pas de commentaire particulier de la part de l'IRSN. L'IRSN rappelle néanmoins que le dossier de DAC devra non seulement présenter la mise en œuvre de la démarche de radioprotection, mais également les premiers éléments issus de la démarche d'optimisation de la dosimétrie, au-delà de la prise en compte des évolutions du MID qui ne saurait être considérée comme une optimisation de la radioprotection.

L'examen par l'IRSN de l'analyse des risques d'exposition interne et externe des travailleurs et du public pendant la phase d'exploitation du stockage réalisée par l'Andra est détaillé au paragraphe 5.2.2 du présent rapport.

#### *Dispositions relatives à la mise en œuvre de la réversibilité*

La loi du 28 juin 2006 (cf. annexe 2) prévoit la poursuite des études et des recherches sur le stockage réversible de déchets radioactifs en couche géologique profonde ; la réversibilité fera l'objet d'une loi spécifique définissant ces conditions. Dans ce contexte, l'Andra définit [1] 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, similaire à celle présentée dans le Dossier 2005, s'articule en trois volets :

1. « *la capacité à reprendre les colis* », également appelée « *recupérabilité* »,
2. « *la capacité à intervenir sur le processus de stockage* »,
3. « *la capacité à faire évoluer la conception du stockage* ».

L'Andra indique que cette définition est fortement liée aux notions de « *flexibilité* » et de « *développement progressif* » du stockage, de la construction de ses différents composants jusqu'à sa fermeture définitive. A travers cette définition, l'Andra introduit des modalités de mise en œuvre de la réversibilité susceptibles d'évoluer au cours des différentes phases de vie du stockage. Au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0081), l'Andra a indiqué que l'examen périodique des modalités de mise en œuvre de la réversibilité de l'installation - incluant la durée de réversibilité du stockage ou de certains de ses composants, dont la loi précitée dispose qu'elle ne peut être inférieure à une centaine d'années - démarrerait dès l'autorisation de création du stockage, sur un principe similaire à celui des réexamens de sûreté prévus dans le cadre de la loi TSN (cf. annexe 4, art. 29). Il est à noter que dans le Dossier 2005, l'Andra considérait une période de réversibilité de l'ordre de deux à trois siècles. Suite à l'examen de ce dossier (cf. avis de l'ASN présenté en annexe 6), cette période a été ramenée, dans le Dossier 2009, à une durée séculaire du même ordre de grandeur que celle de la phase d'exploitation. Par ailleurs, l'Andra illustre le caractère progressif du développement et de la fermeture du stockage par une « *échelle de récupérabilité* », indexée de 0 à 6, qui associe à chacun de ses niveaux une étape spécifique du processus de stockage, à laquelle correspond un ensemble d'actions humaines et de dispositions de sûreté, permettant de progresser vers une sûreté « *passive* » du stockage, mais s'accompagnant de dispositions de plus en plus importantes pour reprendre les colis (cf. Tableau 3).



	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

Tableau 3. Echelle de récupérabilité [1]

A partir de cette échelle, l'Andra propose un processus « *décisionnel* » visant à encadrer les décisions de passage d'un niveau à un autre, applicable pendant l'ensemble de la phase de réversibilité. L'Andra a indiqué pendant l'instruction (lettre DMR/DIR/2010-0081) que les critères de passage d'un niveau à un autre ne sont pas définis à ce stade du développement de ce processus décisionnel. L'Andra présente donc un mode de gestion de l'installation de stockage s'appuyant sur une série de « *points de décision* » appliqués à différents composants du stockage (alvéoles, modules, zones de stockage...). A chacun de ces points, le décideur pourra choisir, sur la base des données accumulées par un programme d'observation et de surveillance, de :

- rester dans la configuration du moment (« *statu quo* ») ;
- « monter » dans l'échelle de récupérabilité, vers un état où l'intervention humaine est moins nécessaire et techniquement plus difficile (l'exploitant parle alors de « *fermeture partielle* » du stockage) ;
- « redescendre » dans l'échelle de récupérabilité, vers un état proposant un plus large éventail de choix possibles pour la gestion des déchets ;
- relancer des études scientifiques et techniques, sur le constat de données qualitatives et quantitatives insuffisantes pour permettre une des deux décisions précédentes ;
- reconfigurer le processus décisionnel lui-même.

L'IRSN note que le passage d'un niveau dans l'échelle de récupérabilité à un autre est sous-tendu par des critères techniques, en particulier ceux liés à la sûreté de l'installation pendant son exploitation et après sa fermeture, qui restent indéfinis à ce stade du projet. L'Andra n'a pas fourni pendant l'instruction de détails quant à des critères relatifs aux passages d'un niveau à l'autre dans l'échelle de récupérabilité ou à un programme de surveillance de l'installation permettant d'acquérir les données nécessaires à l'évaluation desdits critères. L'IRSN considère que les données issues de ce programme devront être acquises dès le démarrage de la construction du stockage, en vue de constituer des points de référence qui pourront être comparés à de nouvelles données acquises au fur et à mesure de l'exploitation du stockage.

E2.1

Aussi, l'IRSN considère que l'Andra devra définir, pour le dossier accompagnant la DAC et dans le cadre du processus décisionnel associé à la réversibilité, des critères associés au passage d'un niveau d'échelle de récupérabilité à un autre, mesurables au moyen d'un programme d'observation et de surveillance de l'installation.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

#### *Gestion de la mémoire du stockage*

L'Andra indique [1] que la gestion de la mémoire du stockage sera organisée en vue de : (i) pendant la phase d'exploitation, conserver des informations (par exemple la nature et la localisation des déchets stockés, la localisation des forages, les techniques de creusement...) qui permettent notamment d'agir en cas d'incidents ; (ii) pendant la phase de post-fermeture, permettre de retarder une intrusion humaine. Au stade du Dossier 2009, ces objectifs généraux définis par l'Andra pour ce qui concerne la mémoire du stockage n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN. L'IRSN attire néanmoins l'attention sur l'importance de mettre en œuvre une démarche relative à la constitution et la gestion de la mémoire dès la création du stockage et sur la nécessité notamment d'intégrer les données relatives à la phase initiale de construction. La réflexion sur la méthode de sélection des données pourrait ainsi être présentée dans le dossier accompagnant la DAC, associée aux modalités de conservation et de transmission de l'information ainsi recueillie.

### 3.2 DEMARCHE DE SURETE POUR LA PHASE DE POST-FERMETURE

Pour ce qui concerne la sûreté de l'installation de stockage pendant la phase de post-fermeture, l'Andra rappelle les objectifs énoncés dans le guide de sûreté [ASN, 2008] : « *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 pas être maintenus de façon certaine au-delà d'une période limitée* ».

La sûreté du stockage, définie par l'Andra pour la phase de post-fermeture du stockage, repose principalement sur la capacité à :

- isoler les déchets des phénomènes de surface et des intrusions,
- s'opposer à la circulation de l'eau,
- limiter le relâchement des radionucléides et des toxiques chimiques et les immobiliser dans le stockage,
- retarder et atténuer la migration des radionucléides éventuellement relâchés hors des alvéoles de stockage,
- rester sous-critique.

Ceci n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN.

En cohérence avec les préconisations du guide de sûreté précité, l'Andra indique que sa démarche est basée notamment sur la maîtrise des solutions technologiques mises en place lors de l'exploitation et sur la compréhension de l'évolution du stockage afin d'assurer une « robustesse » suffisante vis-à-vis des événements internes et externes susceptibles d'intervenir sur des échelles de temps très longues. Ainsi, la démarche de sûreté retenue par l'Andra est fondée sur trois évaluations complémentaires :

- l'analyse phénoménologique des situations de stockage (APSS) qui consiste en la décomposition de l'évolution du stockage en situations, chacune correspondant à l'état phénoménologique thermique, hydraulique, chimique et mécanique d'une partie du stockage ou de son environnement à un moment donné ;
- l'analyse qualitative de sûreté (AQS) qui (i) recense et évalue les risques liés aux incertitudes relatives à l'évolution des composants du stockage, au comportement du stockage et à des événements externes au

stockage, et (ii) permet d'identifier les situations qui s'écartent du domaine d'évolution normale de l'installation ;

- les évaluations quantitatives qui visent à estimer la capacité du stockage à isoler et à confiner la radioactivité et ses conséquences sur l'homme et l'environnement.

L'IRSN constate que la démarche d'évaluation de la sûreté du stockage après sa fermeture, retenue par l'Andra dans le Dossier 2009, est similaire à la démarche mise en œuvre pour le Dossier 2005. Lors de l'examen de ce précédent dossier, l'IRSN avait estimé cette démarche satisfaisante pour l'évaluation de la faisabilité d'un stockage géologique (cf. rapport DSU n°106). Au stade du Dossier 2009, l'Andra a appliqué cette démarche aux évolutions de concepts présentés. Ceci est examiné par l'IRSN au paragraphe 6.2.4.1 du présent rapport.

Pour ce qui concerne la démarche de modélisation de la biosphère, le GPD a recommandé, à l'issue de l'examen du Dossier 2005, que l'Andra « *poursuive les travaux visant à conforter les hypothèses relatives aux biosphères envisageables sur le site retenu, notamment au regard des pratiques internationales* ». L'approche retenue par l'Andra comprend les cinq étapes suivantes :

- définition du contexte de l'évaluation,
- choix des biosphères types,
- identification et justification des compartiments du modèle conceptuel,
- modélisation des transferts de radionucléides ou toxiques vers l'homme,
- construction des modèles numériques en vue des quantifications.

Cet ensemble d'étapes permet de modéliser les transferts des radionucléides depuis un exutoire jusqu'à l'homme et d'estimer leurs impacts. L'IRSN constate que cette démarche, qui intègre les conclusions de travaux réalisés dans le cadre d'un projet international portant spécifiquement sur la modélisation de la biosphère [BIOMASS, 2003], permet de définir de façon claire les éléments retenus pour la modélisation de la biosphère et l'évaluation de l'impact radiologique du stockage. L'IRSN observe *a fortiori* qu'un groupe de travail Andra/IRSN a été mis en place en 2008 dans le but de préciser la position des experts notamment sur les éléments ayant fait l'objet de recommandations de la part de l'IRSN lors de précédents examens, et que, pour élaborer sa démarche d'évaluation de l'impact radiologique, l'Andra s'appuie sur les conclusions de ce groupe de travail, présentées le 15 septembre 2009 devant le groupe permanent.

Ainsi, l'IRSN considère que cette démarche est satisfaisante dans son ensemble.

## **4 DESCRIPTION GENERALE DU SITE ET DES INSTALLATIONS**

### **4.1 SITE ET OPTIONS DE CONCEPTION**

Ce chapitre présente une description d'ensemble du site, de l'architecture du stockage et des concepts de stockage retenus par l'Andra. Les éléments de description qu'il contient dans le paragraphe 4.1.1 sont issus notamment du document « Référentiel du site de Meuse/Haute-Marne » [15] et des documents [30] et [33], ceux des paragraphes 4.1.2 et 4.1.3 proviennent en majeure partie du document « Options de conception » [2] et du document [9]. L'évaluation de ces éléments au regard de la sûreté fait l'objet des chapitres 5 et 6 du présent rapport.

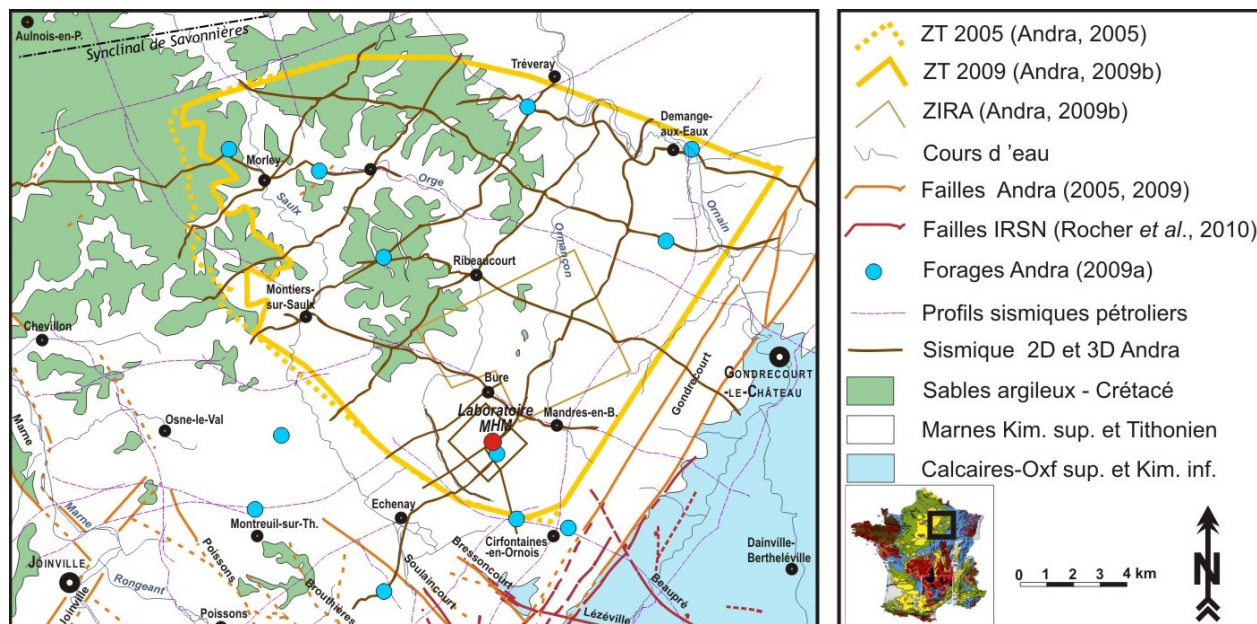
#### ***4.1.1 SECTEUR DE MEUSE/Haute-MARNE***

Le présent paragraphe décrit les principaux éléments relatifs au cadre géologique et hydrogéologique du secteur de Meuse/Haute-Marne (MHM), acquis lors de phases d'investigation réalisées par l'Andra, dont l'historique est résumé dans l'annexe 11.

## Cadre géologique

Le secteur de MHM correspond à la bordure orientale du Bassin sédimentaire de Paris. Il est encadré par des failles présentant des rejets verticaux de plusieurs dizaines de mètres (failles de la Marne à l'Ouest, de Gondrecourt à l'Est, et plus éloignés, faisceau de failles de Metz au Nord et faille de Vittel au Sud). Une zone dite de « fracturation diffuse », associée au faisceau de failles de Poissons et située entre les failles de la Marne et de Gondrecourt (cf. Figure 1), constitue la bordure Sud-Ouest du secteur.

La formation argileuse du Callovo-Oxfordien, formation hôte envisagée pour accueillir les installations souterraines du stockage, a été reconnue, dans l'environnement proche du laboratoire souterrain de MHM, entre 360 m et 620 m de profondeur. Dans l'emprise de la ZIRA (cf. chapitre 1 du présent rapport et Figure 1), la partie médiane de cette couche, qui s'incline légèrement vers le centre du Bassin avec un pendage d'environ 2 % vers l'Ouest, est située à une profondeur comprise entre 500 et 600 m (490 m au niveau du laboratoire souterrain). Cette formation est localisée stratigraphiquement entre deux formations calcaires « encaissantes » présentant des niveaux aquifères : le Dogger en dessous, surmontant lui-même le Lias argileux, le Trias salifère et le Paléozoïque, et l'Oxfordien au-dessus, qui est surmonté par le semi-perméable marneux du Kimméridgien et l'aquifère superficiel des calcaires du Barrois d'âge tithonien (cf. Figure 2). La formation du Callovo-Oxfordien est constituée de trois séquences sédimentaires [15]. Elle présente, dans l'emprise de la ZIRA, une épaisseur comprise entre 140 et 154 m. A plus grande échelle, c'est-à-dire entre les failles bordant le secteur (cf. Figure 1) qui affectent le Callovo-Oxfordien, l'Andra considère que la formation du Callovo-Oxfordien présente une grande homogénéité lithologique, expliquée par des conditions calmes de dépôt des argilites qui la constituent. Le niveau de référence choisi par l'Andra pour implanter le futur stockage (cf. lettre DMR/DIR/10-0084) correspond à la partie médiane de la couche et également au niveau le plus argileux. Ce niveau est limité par les repères stratigraphiques S1p et S1bis<sup>3</sup> dont l'épaisseur varie sur la ZIRA de 16 à 26 m. Sur la base des données acquises en forage, l'Andra indique que les propriétés suivantes de ce niveau du Callovo-Oxfordien varient peu au sein de la ZIRA : propriétés mécaniques, propriétés de rétention des argiles, perméabilités, coefficients de diffusion, porosité.



<sup>3</sup> S1p et S1bis correspondent respectivement aux limites inférieure et supérieure de l'intervalle de maximum d'argilosité (IMA).

### *Cadre hydrogéologique*

Les deux aquifères principaux traversés pour atteindre le Callovo-Oxfordien (calcaires du Barrois et calcaires de l'Oxfordien), ainsi que l'aquifère sous-jacent au Callovo-Oxfordien (calcaires du Dogger) sont brièvement décrits ci-après.

L'aquifère à surface libre du Barrois est de type karstique lorsqu'il affleure dans le secteur de MHM ; il peut donc être localement très productif. Au sein de la ZIRA, son épaisseur peut aller jusqu'à 130 m.

L'aquifère de l'Oxfordien, d'environ 280 m d'épaisseur, a été recoupé dans le secteur de MHM par treize forages réalisés par l'Andra (cinq forages de plus qu'en 2005). Il présente une transmissivité globale comprise entre  $10^{-7}$  et  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s. Des transmissivités plus élevées (entre  $10^{-3}$  et  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s) sont obtenues dans la zone de fracturation diffuse [30]. Au niveau de la zone de transposition (ZT), les écoulements sont orientés vers le Nord-Ouest avec un gradient hydraulique d'environ 0,5 %. Cet aquifère présente une alternance entre des niveaux peu producteurs (voire non producteurs) et plus producteurs. Ces derniers, nommés « horizons producteurs », peuvent être réunis en cinq groupes dans la zone du laboratoire souterrain : il s'agit, de bas en haut, des niveaux Hp1-2, Hp3-4, Hp5, Hp6 et Hp7 (cf. Figure 2). Ainsi, bien que, à l'échelle de la ZT, l'Oxfordien se comporte comme un unique aquifère (les horizons producteurs sont connectés à plus ou moins grande distance, avec pour conséquence une charge hydraulique souvent unique dans tous les niveaux poreux rencontrés sur une même verticale), les charges hydrauliques mesurées sur chaque niveau réagissent individuellement en cas de perturbation rapide, comme cela est le cas au niveau du laboratoire où le fonçage des deux puits a engendré des rabattements d'ampleurs différentes pour chaque niveau.

Sous-jacent au Callovo-Oxfordien, l'aquifère calcaire du Dogger, d'environ 250 m d'épaisseur, est recoupé par onze forages réalisés par l'Andra (cinq forages de plus qu'en 2005). Sa transmissivité globale est comprise entre  $10^{-9}$  et  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s (entre  $10^{-6}$  et  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s dans la zone de fracturation diffuse) [30]. Il présente des écoulements également orientés vers le Nord-Ouest avec un gradient plus faible que dans l'Oxfordien (environ 0,1 %).

Le gradient hydraulique vertical à travers le Callovo-Oxfordien, résultant des différences de charge entre l'Oxfordien et le Dogger, varie entre une valeur légèrement négative au Sud-est de la ZIRA (gradient descendant) et 0,2 m/m (ascendant) au Nord-Ouest de cette zone. L'Andra estime un accroissement de ce gradient vertical avec le temps pouvant aller à un doublement en 500 ka en fonction des modifications géodynamiques liées à l'érosion.

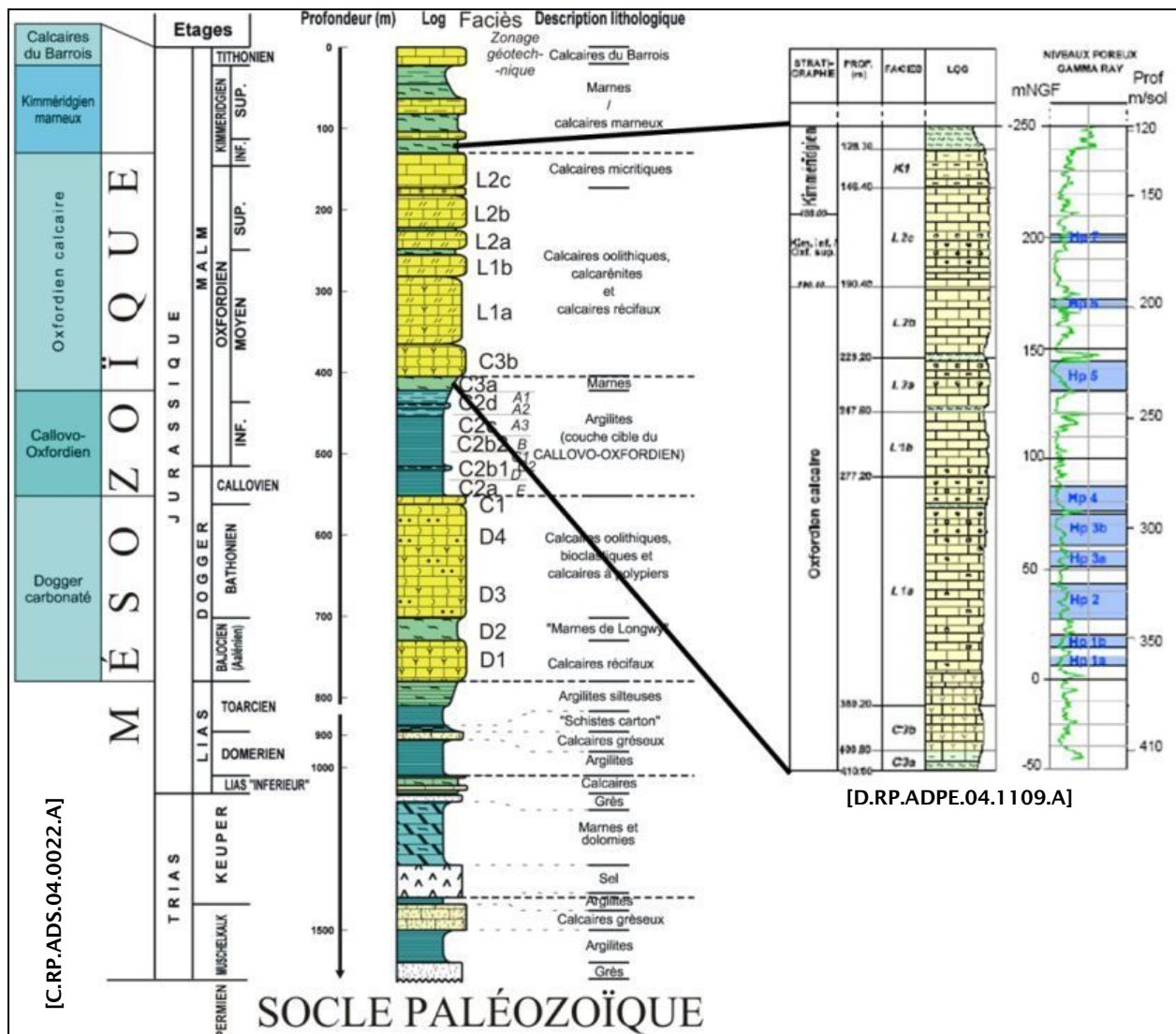


Figure 2 : Log stratigraphique synthétique et nomenclature des différents zonages et faciès au niveau du laboratoire de MHM (gauche) - Localisation des horizons poreux de l'Oxfordien dans le forage EST201 (droite)

#### 4.1.2 LES COLIS, CONTENEURS ET HOTTES DE TRANSFERT

La fonction de protection des colis primaires (tenue mécanique, protection contre l'incendie...) assignée par l'Andra aux colis de stockage est commune aux déchets HA et MAVL [1] ; d'autres fonctions spécifiques à chaque type de colis de stockage sont mentionnées ci-après. En outre, les colis de stockage HA et MAVL permettent de standardiser les processus d'exploitation (transfert, mise en alvéole de stockage ou retrait...).

##### *Colis de stockage de déchets MAVL*

Les colis de stockage de déchets MAVL sont de conception similaire à celle présentée par l'Andra dans le Dossier 2005 : les colis primaires (fûts en acier ou conteneurs en béton) sont placés, pour « *simplifier les processus d'exploitation face à la grande diversité des colis [primaires] de déchets* », dans des conteneurs de stockage parallélépipédiques en béton, dont deux exemples sont présentés en Figure 3. Le conteneur de stockage est un objet massif, sans vides intérieurs autour des colis primaires, hormis les jeux nécessaires à leur mise en place (objectif de compacité et de minimisation des vides). Il mesure entre 1,5 et 2,2 m de hauteur, 1,5 et 3 m de largeur et pèse entre 7 et 25 tonnes. Un conteneur de stockage est constitué de deux éléments préfabriqués en béton armé : un corps et un couvercle. Le corps est doté de cloisons internes qui ménagent des logements ajustés

à la forme des colis primaires. Le couvercle est emboîté et fixé sur le corps par des vis, l'interface étant assurée par un joint sec.

Les colis de stockage MAVL qui contiennent des déchets produisant des gaz de radiolyse doivent permettre l'évacuation de ces gaz. Pour ces colis, des variantes de conception relatives principalement à la partie interne du colis de stockage et au mode de fermeture sont développées par l'Andra, qui prévoit de réaliser si besoin des événements afin de s'affranchir du risque de concentration excessive en gaz explosibles dans le conteneur. La position en face latérale de ces événements et leur forme éviterait que l'eau ne pénètre dans le colis [1].

Les colis primaires de déchets MAVL, regroupés dans un colis de stockage, sont sélectionnés de manière à maîtriser le risque de criticité dans les colis de stockage.

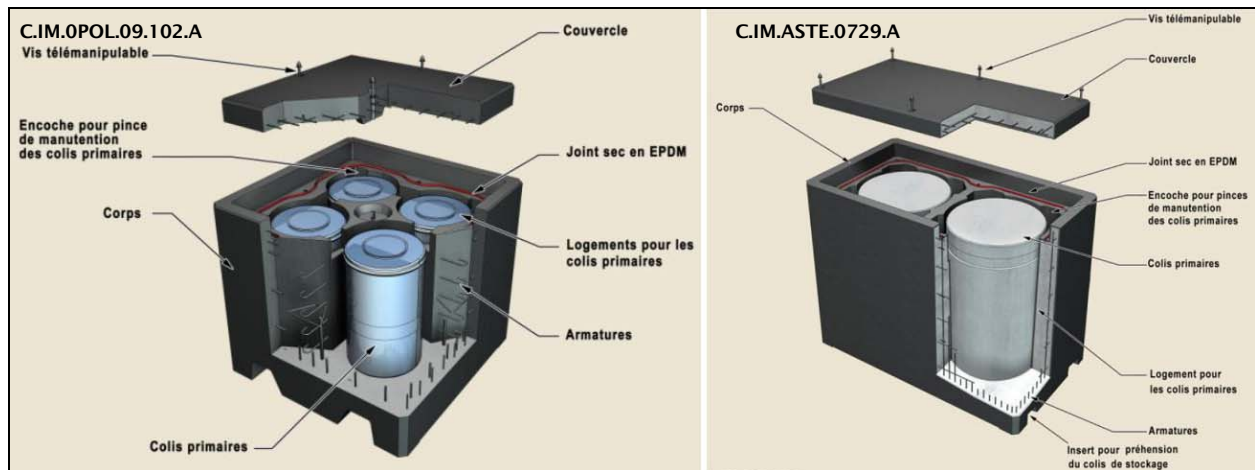


Figure 3 : Exemples de colis de stockage de déchets MAVL

#### *Colis de stockage de déchets HA et CO-CU3*

Le concept de colis de stockage de déchets HA et CO-CU3 est similaire à celui présenté dans le Dossier 2005.

La matrice de verre dans laquelle ont incorporés les déchets HA calcinés est coulée dans un conteneur en acier inoxydable, dit « colis primaire » (cf. Figure 4). Ce colis est ensuite placé dans un conteneur de stockage (ou surconteneur) de forme cylindrique et de diamètre légèrement supérieur à celui du colis primaire. Le surconteneur est dimensionné pour accueillir un seul colis primaire. Il est constitué d'une virole en acier non allié de 55 mm d'épaisseur pour les déchets fortement exothermiques et d'un couvercle, assemblés par soudage. La masse du colis de stockage (colis primaire et surconteneur) est de l'ordre de 2 tonnes. Sa manutention est assurée par une gorge de préhension usinée directement dans le couvercle de fermeture. Les espaces vides intérieurs entre le colis primaire et le surconteneur sont minimisés et le système de gorge de préhension permet de réduire le jeu de manutention dans l'alvéole. Le surconteneur est doté de patins en céramique inerte évitant un contact direct acier/acier entre le surconteneur et le chemisage de l'alvéole. Cette disposition facilite les opérations de mise en place mais aussi de retrait éventuel, en améliorant le glissement du surconteneur lors de sa manutention horizontale dans l'alvéole.

Le conteneur de stockage de déchets HA doit être conçu pour être étanche à l'eau pendant la phase thermique (jusqu'à ce que la température du verre soit inférieure à 50°C), afin d'évaluer de manière fiable le comportement des radionucléides compte tenu des limites actuelles de connaissance, c'est-à-dire pendant une durée séculaire à millénaire suivant la nature des déchets. Afin de limiter la température dans l'argilite (critère de température inférieure à 90°C), l'Andra prévoit, si nécessaire, de mettre en place des intercalaires (alternance d'un colis HA avec un/des intercalaires de mêmes dimensions dans l'alvéole de stockage). Les matériaux utilisés pour ces intercalaires ne sont pas encore définis.

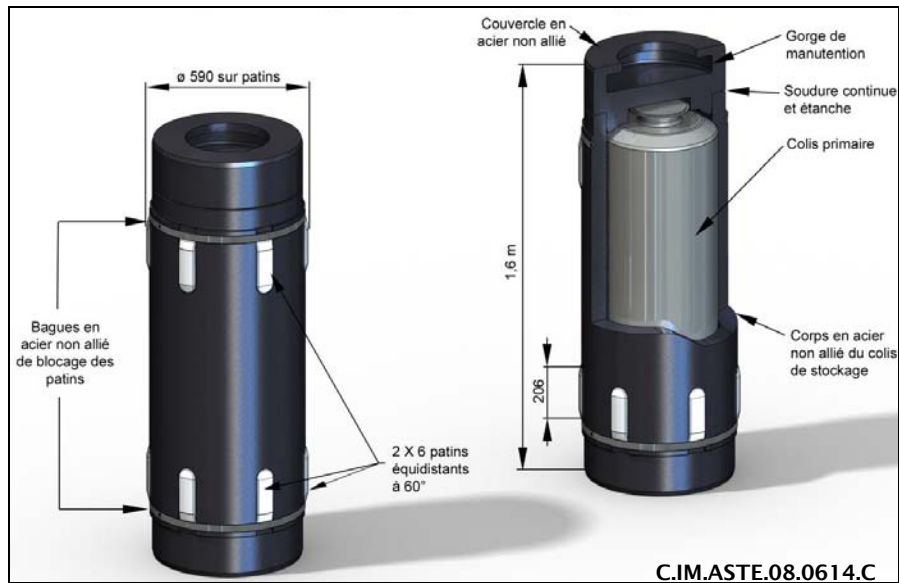


Figure 4 : Exemple de colis de stockage de déchets HA

### *Hottes de transfert*

Le transfert des colis de stockage, depuis leur chargement dans des installations de surface jusqu'à leur introduction dans les alvéoles de stockage (cf. paragraphe 4.1.3), se fait à l'intérieur de hottes de transfert (cf. Figure 5). Ces hottes comprennent une enceinte blindée de radioprotection dotée d'une porte et d'une structure support.

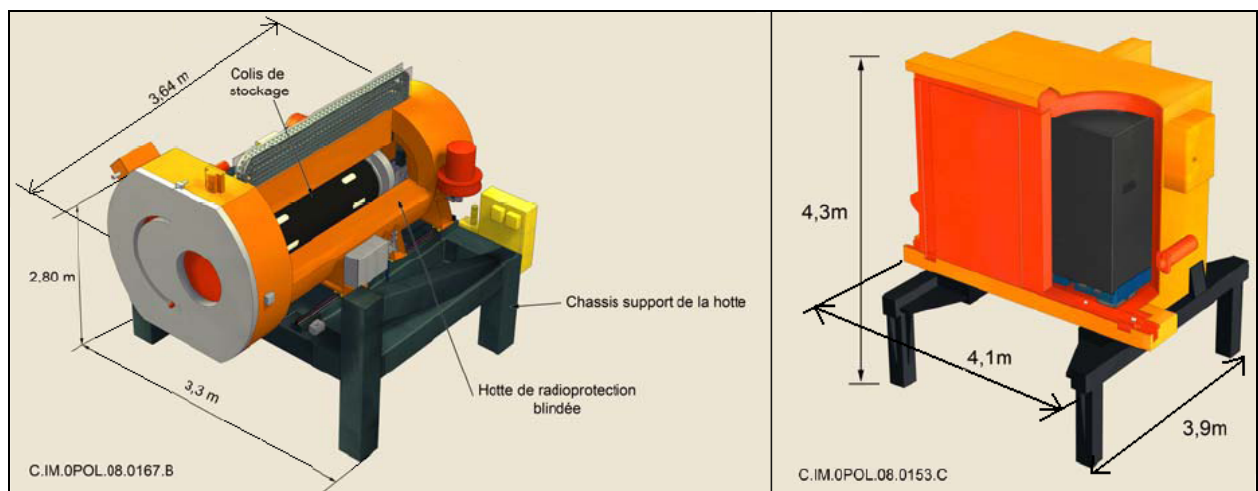


Figure 5 : Exemples de hottes de transfert de colis HA (gauche) et MAVL (droite)

## 4.1.3 LES CONCEPTS DE STOCKAGE

### *Installations de surface*

Le centre de stockage est constitué d'installations de surface et d'installations souterraines, reliées par des ouvrages de liaison. L'Andra prévoit deux zones pour les installations de surface (cf. Figure 6). Une première zone, située à l'aplomb des installations souterraines, est reliée à ces dernières par des puits. Une seconde zone, décentrée, est liée aux installations souterraines par l'intermédiaire d'une descendrière déroulée sur environ 5 km et qui permet le transfert des colis depuis la surface vers le fond. Les ouvrages de liaison jour-fond sont décrits ci-après.



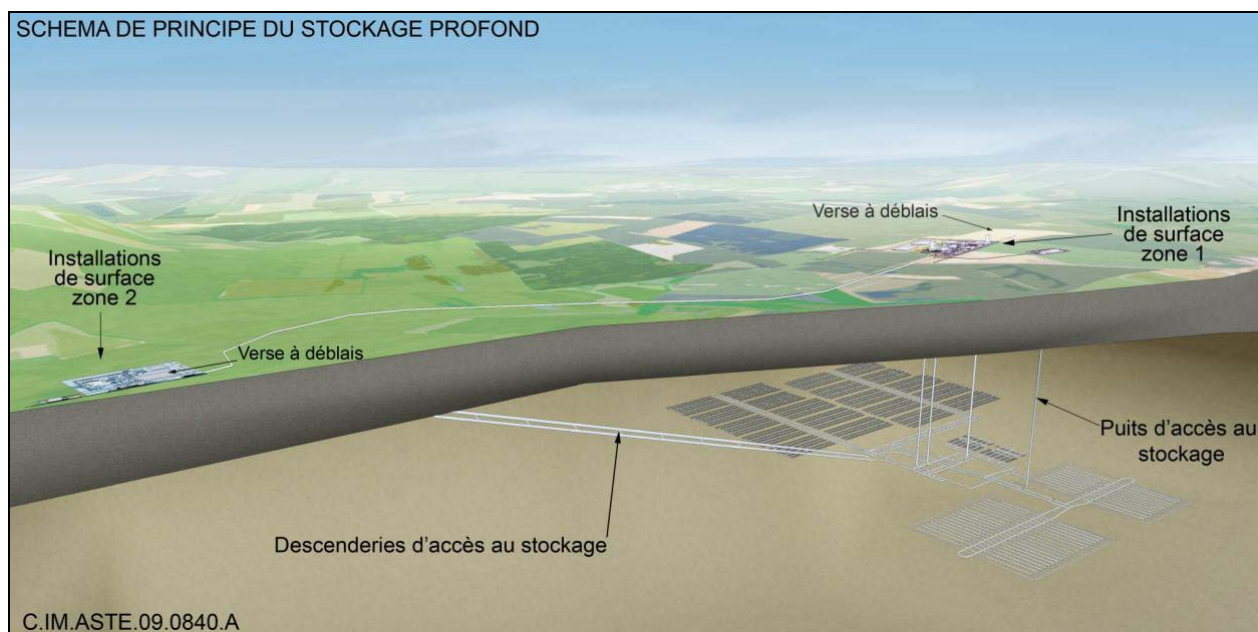


Figure 6 : Exemple d'architecture possible du stockage avec deux zones d'implantation d'installations de surface

Les zones potentielles d'implantation pour les installations de surface (ZIIS) sont comprises dans la zone de transposition (ZT), complétée par une bande comprise entre 1 et 5 km tout autour de la ZT.

La zone « puits » accueille les installations nécessaires aux opérations de creusement des installations souterraines, ainsi que les verses de déblais issus de l'excavation. Elle comprend également la tête des puits de ventilation et de descente du personnel vers les zones souterraines, des installations techniques nécessaires au fonctionnement des installations souterraines et des installations permettant de contrôler les eaux d'exhaure et d'assurer la surveillance de l'environnement. L'emprise de cette zone « puits » est actuellement estimée à 2 km<sup>2</sup>, dont 1,3 km<sup>2</sup> réservés aux verses de déblais. La zone « descenderie », quant à elle, a pour vocation principale la réception des colis primaires, leur conditionnement en colis de stockage et le transfert de ceux-ci vers les installations souterraines. Dans cette zone, des entreposages temporaires de colis de déchets en surface permettent d'ajuster les flux de mise en stockage des colis. Cette zone contient également des bâtiments techniques et de support, des installations de contrôle des eaux et de l'environnement, un terminal ferroviaire, des verses de déblais issus du creusement de la descenderie ainsi que des aires de dépôts d'équipements et matériels. L'emprise de cette zone est actuellement estimée à environ 1 km<sup>2</sup>, dont environ un tiers réservé aux verses de déblais. L'Andra étudie également la possibilité d'implanter des installations d'entreposage de longue durée dans cette zone (cf. paragraphe 5.1.2 du présent rapport).

#### *Installations de liaison jour-fond*

Pour ce qui concerne les installations de liaison jour-fond, l'Andra présentait dans le Dossier 2005 des solutions basées exclusivement sur des puits. Dans le Dossier 2009, l'Andra retient comme option de référence des puits et une descenderie. Cette nouvelle option de référence permet, selon l'Andra, d'avoir une plus grande « flexibilité d'implantation » des installations de surface. Il est prévu une descenderie déroulée, d'une pente de 10 à 12 %, à double tube (cf. Figure 6), l'un d'environ 8,5 m de diamètre excavé (7 m utile) exclusivement réservé au transfert de colis, l'autre d'environ 10 m (8 m utile) de diamètre excavé permettant d'assurer des fonctions de service (accès de matériels, de personnes, de maintenance et de secours). L'Andra a précisé pendant l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0063) avoir « privilégié comme référence la solution du funiculaire [pour le transfert des hottes dans la descenderie] qui donne le plus de flexibilité quant à la pente de l'ouvrage, sans préjuger du choix futur qui ne pourra être fait qu'avec la connaissance de l'implantation respective des sites ».

Les autres liaisons jour-fond seront assurées par quatre puits verticaux : un puits dédié à la descente et la remontée du personnel, un puits dédié aux « travaux », un puits assurant le retour d'air et l'éventuel désenfumage des sous-zones de stockage HA et C0/CU3 ainsi que de la zone centrale de soutien, et un quatrième dédié au retour d'air spécifique à la zone MAVL (cf. ci-avant).

#### *Architecture générale des installations souterraines*

L'architecture des installations souterraines (cf. Figure 7) est globalement horizontale. Les ouvrages sont placés au milieu de la formation du Callovo-Oxfordien sur un seul niveau afin de maximiser l'épaisseur de la barrière géologique au-dessus et au-dessous des ouvrages du stockage.

La descenderie et trois puits aboutissent dans une zone centrale de soutien (ZCS), reliée aux différentes zones de stockage. Le quatrième puits, dégroupé par rapport aux trois précédents et implanté dans la zone de stockage MAVL, à 700 m de la ZCS (cf. Figure 7), assure le retour d'air spécifique de cette zone (cette option n'était pas retenue dans le Dossier 2005) ; pour rappel, l'Andra présentait, dans le Dossier 2005, une configuration de puits situés en amont hydraulique (donc décentrés) des zones de stockage. La superficie de cette zone centrale est estimée à environ 0,2 km<sup>2</sup>.

Des faisceaux de deux à trois galeries de liaison parallèles relient la zone centrale aux zones de stockage. Il est à noter que ces galeries étaient organisées par faisceaux de quatre à cinq dans le Dossier 2005, et que leur diamètre excavé est passé de 6 m, dans le Dossier 2005, à 9 m dans le Dossier 2009, permettant ainsi d'intégrer le retour d'air des zones autres que MAVL en exploitation, dans des gaines ou sections dédiées en toit de galerie. Les galeries d'accès aux alvéoles de stockage ont un diamètre excavé compris entre 7 et 8 m.

Le stockage comporte trois zones de stockage qui accueillent chacune un type de déchets (MAVL, HA et C0-CU3, cf. Figure 7). Ces zones sont subdivisées en sous-zones, modules, et alvéoles. Les sous-zones sont desservies par deux galeries de liaison : une galerie de transfert de colis (en bleu sur les Figure 7, Figure 8, Figure 10) et une galerie de travaux (en rose). En effet, plusieurs modules peuvent être en construction ou en exploitation simultanément dans une même zone de stockage. Ces activités sont séparées grâce à des circuits dédiés à chaque activité ou à la présence de sas de séparation. Afin d'éviter les croisements entre les deux types d'activités, les galeries de la zone de travaux peuvent passer localement soit au-dessus, soit au-dessous de galeries de la zone d'exploitation nucléaire. Au cours de l'instruction, l'Andra a transmis un plan détaillé du stockage (référéncé C.PL.ASTE.09.0552.B) ainsi que des coupes associées (ref. C.PL.ASTE.10.0212.C). La formation du Callovo-Oxfordien présentant un pendage de l'ordre de 2 %, la pente des galeries de transfert des colis suit ce pendage (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) et, afin de maintenir chaque alvéole de stockage sur un plan horizontal, leurs cotes individuelles varient progressivement pour s'y ajuster et rester dans la partie médiane de la formation. Les galeries de la zone de travaux peuvent, lorsqu'elles passent au-dessus ou au-dessous d'une galerie de transfert des colis, présenter des pentes légèrement supérieures à 8 % (un cas dans la zone MAVL, un cas dans la zone HA et deux cas dans la ZCS). Enfin, des recoupes, régulièrement espacées et équipées de sas, relient les galeries de liaisons parallèles constituant un faisceau. La pente de ces recoupes peut atteindre 10 % dans la zone de stockage MAVL.

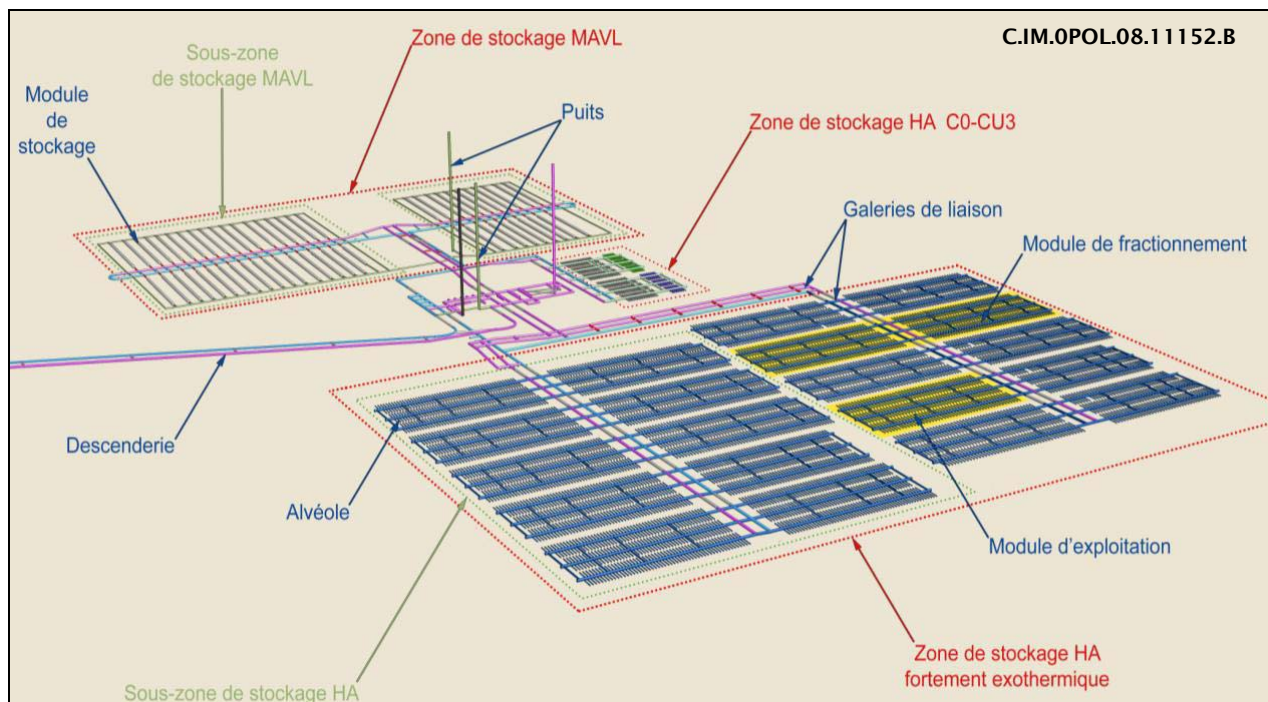


Figure 7 : Exemple d'organisation générale du stockage

#### *Zone de stockage des déchets MAVL*

La zone de stockage de déchets MAVL est présentée en Figure 8. Ses deux sous-zones permettent de séparer les déchets contenant de la matière organique de ceux n'en contenant pas. Chaque module de stockage consiste en un alvéole unique, de configuration « passante » afin de faciliter la ventilation de l'alvéole (nécessaire à l'évacuation des gaz de radiolyse) pendant sa durée d'exploitation. La configuration de l'alvéole est présentée en Figure 9. L'alvéole est desservi en entrée par une galerie d'accès recoupant perpendiculairement la galerie de liaison et est relié de l'autre côté à une galerie d'extraction recoupant perpendiculairement la galerie de retour d'air, elle-même contournant chaque sous-zone. L'alvéole, d'une longueur totale d'environ 400 m, se décompose en deux parties : d'une part, la « tête d'alvéole » de 25 m de long et de diamètre pouvant aller jusqu'à 13 m excavé (en fonction de la solution de manutention sélectionnée, cf. lettre DMR/DIR/10-0079), équipée d'un local d'accostage de la hotte et d'une cellule de manutention des colis, d'autre part la « partie utile » de 8 à 9 m de diamètre excavé, dans laquelle sont stockés les colis. Il convient de noter que le concept d'alvéole de stockage de déchets MAVL présenté dans le Dossier 2009 a évolué par rapport au concept présenté dans le Dossier 2005, dans lequel l'Andra présentait des alvéoles MAVL « borgnes » qui mesuraient environ 250 m de long pour un diamètre excavé de 10 à 12 m dans la partie utile.

La zone de stockage MAVL comprend de 57 à 63 alvéoles selon le scénario de gestion des déchets (scénario de base - SB - ou scénario de dimensionnement - SD -), pour une emprise de 3 à 3,2 km<sup>2</sup>.

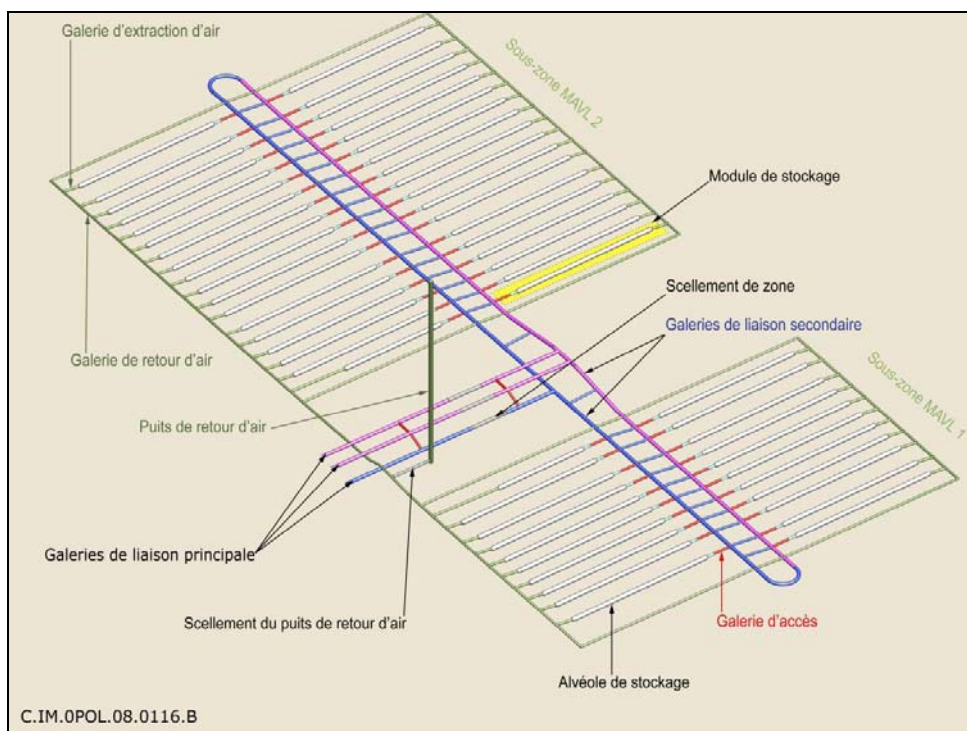


Figure 8 : Exemple d'architecture d'une zone MAVL

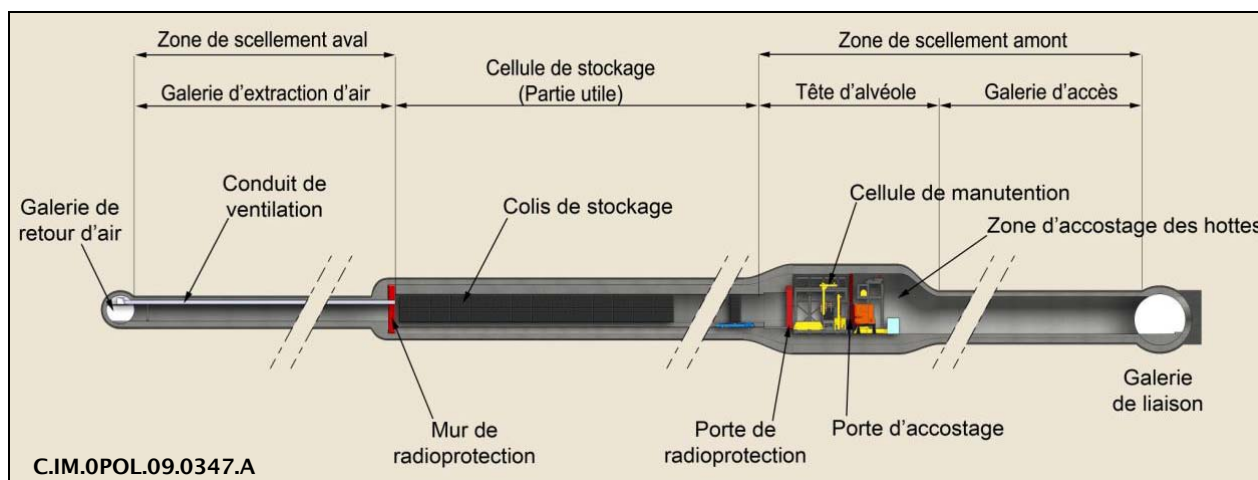


Figure 9 : Schéma du module de stockage MAVL en exploitation

#### Zone de stockage des déchets HA

La zone de stockage des déchets HA fortement exothermiques (c'est-à-dire hors C0 et CU3) est présentée en Figure 10. Elle est reliée à la zone centrale par un faisceau de trois galeries de liaison principale (une galerie de transfert de colis et deux galeries de travaux). Chaque sous-zone de stockage est composée d'une dizaine de modules dits « d'exploitation », situés de part et d'autre du faisceau de galeries de liaison secondaires. Deux modules d'exploitation en vis-à-vis forment un module de fractionnement afin de les individualiser lors de la fermeture progressive du stockage par la mise en place de scellements de fractionnement (cf. ci-après). Les galeries d'accès aux alvéoles sont orientées orthogonalement aux alvéoles.

L'alvéole de stockage de déchets HA, de longueur 40 m et de diamètre excavé 70 cm, est présenté en Figure 11. Le Dossier 2009 présente une évolution notable du concept d'alvéole HA par rapport à celui présenté dans le Dossier 2005 : le chemisage de l'alvéole HA se compose dorénavant de deux parties appelées « chemisage » et « insert ». Le chemisage, installé dans la « partie utile » de l'alvéole (dans laquelle sont placés les colis), est d'un

diamètre légèrement inférieur à l'insert - d'environ 10 m de long et situé en tête d'alvéole - dans lequel il peut coulisser. Un fourreau de transfert, installé dans l'insert lors du remplissage de l'alvéole, permet aux colis de glisser à l'intérieur d'un tube de même diamètre que celui du chemisage. D'après [3] et la lettre DMR/DIR/10-0083, l'Andra prévoit en outre que les tronçons de chemisage (de longueur comprise entre 1,50 m et 2,50 m) soient vissés ou soudés. Pendant la phase d'exploitation, un operculaire est mis en place afin d'obturer l'alvéole.

La zone de stockage HA comprend 5 700 à 8 000 alvéoles selon le scénario (respectivement SB ou SD, cf. chapitre 0 du présent rapport), décomposée en modules d'exploitation d'environ 300 alvéoles. Son emprise, de 6 km<sup>2</sup> (SB) à 8 km<sup>2</sup> (SD) est largement déterminée par des considérations thermiques (distances entre les alvéoles fixées pour limiter les interactions thermiques), dépendant notamment de la durée d'entreposage préalable des colis primaires (cf. paragraphe 5.1.2 du présent rapport).

Les déchets faiblement exothermiques (C0 et CU3) sont quant à eux regroupés dans une zone dédiée (cf. Figure 7), qui comporte deux modules d'exploitation de taille réduite (214 alvéoles pour les déchets C0, 116 pour les déchets CU3). Les alvéoles de stockage sont de conception identique à celles de la zone HA ; la surface de stockage est d'environ 0,3 km<sup>2</sup>.

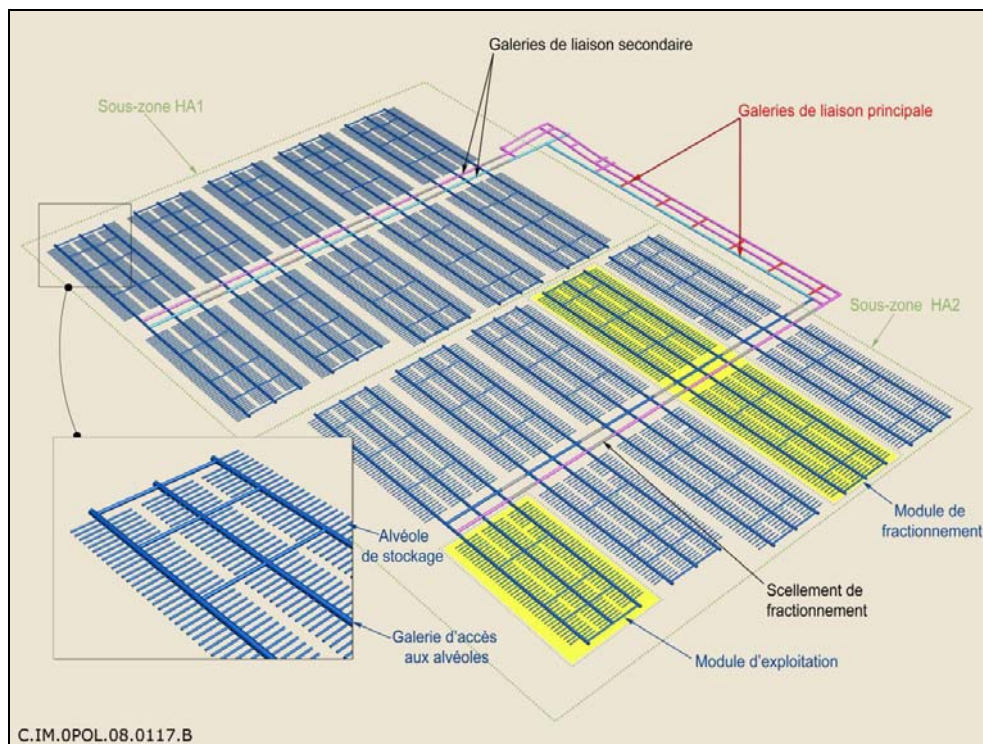


Figure 10 : Exemple d'architecture d'une zone HA

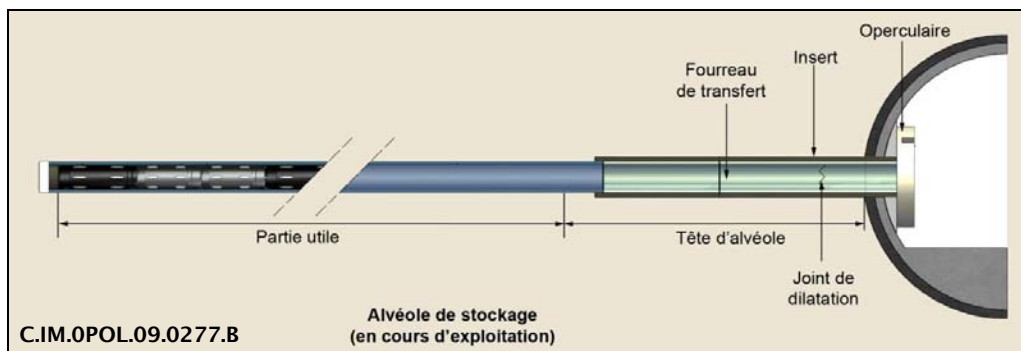


Figure 11 : Alvéole de stockage de colis HA exothermiques en exploitation

### Fermeture du stockage

Pour fermer les alvéoles, les galeries, les puits et la descendrie, l'Andra prévoit, d'une part, un remblai à base d'argilite excavée, d'autre part des scellements<sup>4</sup> (exemple en Figure 10) comprenant un « noyau » en argile gonflante (bentonite) faiblement perméable. Les ouvrages horizontaux appelés à recevoir des scellements sont positionnés de façon à être orientés parallèlement à la contrainte horizontale majeure. Les « noyaux » de scellements en argile gonflante sont comprimés entre deux massifs d'appui en béton dans le cas des scellements de galeries (incluant les galeries d'accès aux alvéoles MAVL), ou entre un massif d'appui et un bouchon métallique (permettant d'assurer une protection radiologique) dans le cas du bouchon d'alvéole HA. Les scellements de galeries (cf. Figure 12), de puits (cf. Figure 13) ou de descendrie sont de longueur pluri-décamétrique avec un diamètre pouvant atteindre 10 m en descendrie. Les bouchons d'alvéole HA (cf. Figure 14) mesurent 3 m de longueur et 70 cm de diamètre. En outre, l'insert en tête d'alvéole HA est maintenu en place après fermeture de l'alvéole (il convient de noter que l'Andra prévoyait, dans le Dossier 2005, de déposer l'insert avant d'obturer l'alvéole). Pour les scellements de galeries, l'Andra prévoit de réaliser des saignées emplies d'argile gonflante (après dépose partielle du béton de revêtement) afin d'intercepter localement la zone de roche endommagée par l'excavation autour des galeries.

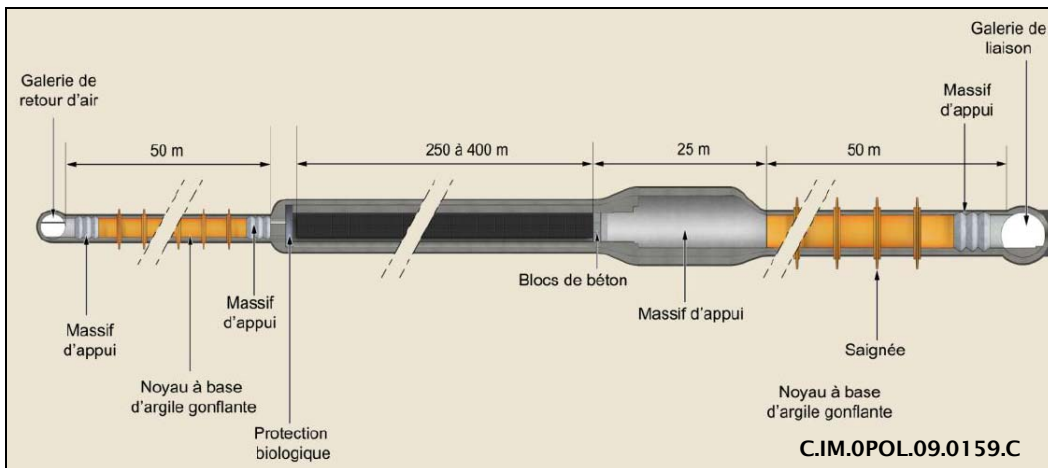


Figure 12 : Scellement de galeries d'accès à un alvéole de stockage de déchets MAVL

<sup>4</sup> En plus des scellements d'alvéoles, dans la zone de déchets MAVL, les scellements de galerie permettent d'isoler chacune des deux sous-zones. Dans la zone de stockage HA, ils isolent chaque « modules de fractionnement » contenant chacun deux modules d'exploitation.

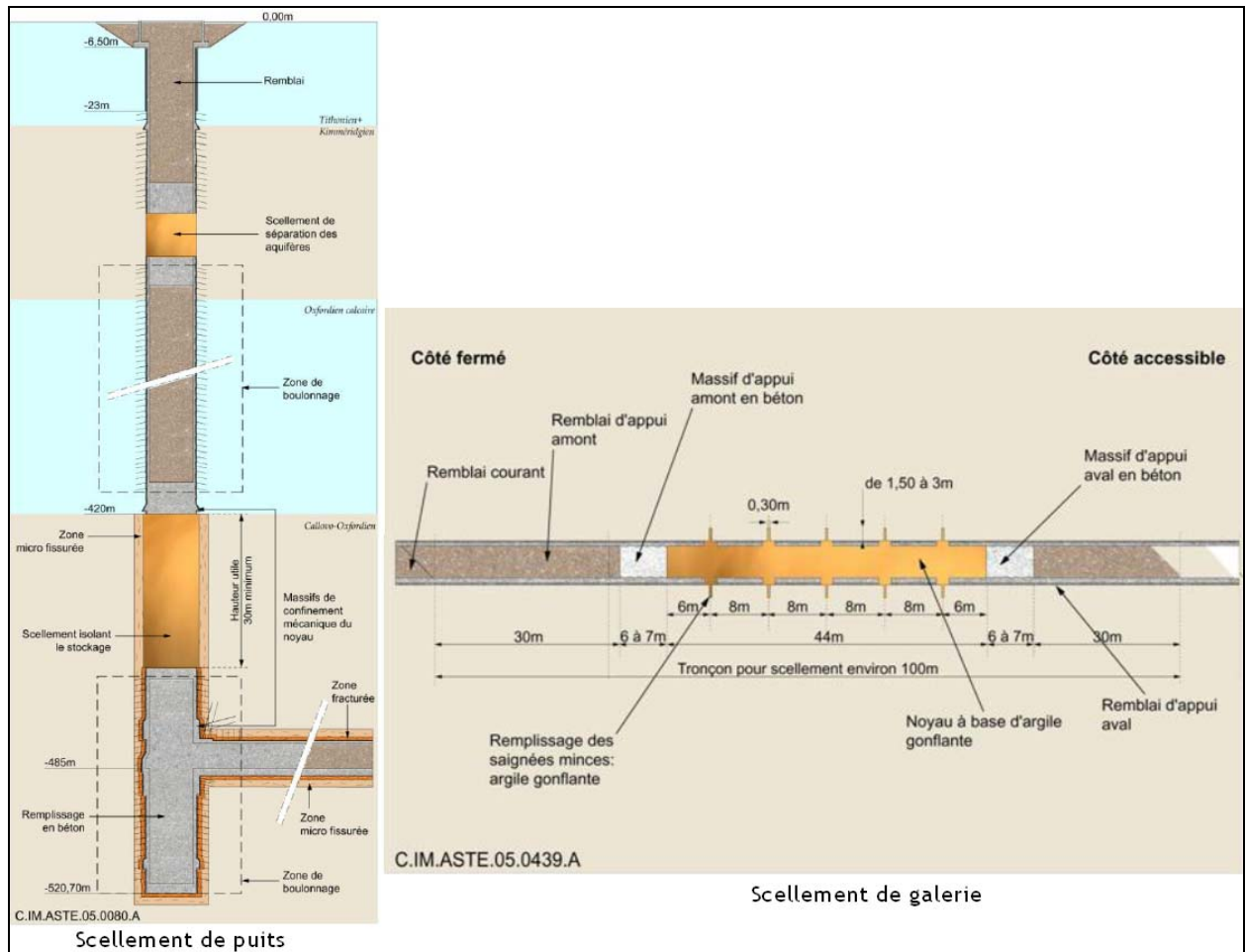


Figure 13 : Représentations schématiques de scellements

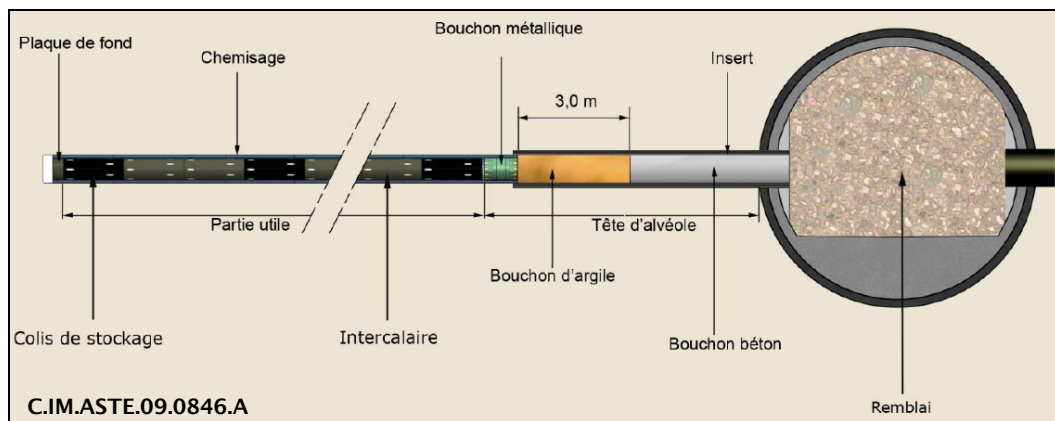


Figure 14 : Bouchon d'alvéole de stockage de déchets HA

## 4.2 FONCTIONNEMENT NORMAL DE L'INSTALLATION

### 4.2.1 FONCTIONS EXERCÉES PAR L'INSTALLATION

L'Andra présente [2] les fonctions principales de l'installation pendant sa phase d'exploitation.

En premier lieu, les installations de surface ont « des fonctions d'exploitation nucléaire et des fonctions de soutien aux installations souterraines » [2] :

- le déchargement des emballages de transport contenant les colis de déchets issus des producteurs,
- le contrôle des emballages de transport et des colis entrants,

- l'assemblage et le contrôle des colis de stockage,
- le chargement et le déchargement des hottes de transfert des colis de stockage entre la surface et les installations souterraines,
- le soufflage et l'extraction de l'air nécessaire à la ventilation des installations souterraines,
- le contrôle des rejets de l'ensemble des installations,
- l'entreposage de colis de déchets et de colis de stockage.

Il convient d'ajouter d'autres fonctions industrielles dévolues aux installations de surface, telles que la maintenance des équipements, l'entreposage de pièces détachées, la préparation des matériaux de construction nécessaires aux travaux dans les installations souterraines, ainsi que des composants, et la gestion des déblais issus des espaces souterrains excavés. L'Andra prévoit [2] que le développement des installations de surface sera modulaire pour permettre une extension progressive en fonction des besoins, à l'instar des installations souterraines.

En second lieu, les installations de liaison jour-fond, constituées de puits et d'une descenderie double tube, permettront d'assurer les transferts depuis la surface jusqu'à la zone centrale de soutien :

- des colis de stockage,
- des matériaux et des composants ouvragés destinés à l'aménagement des installations souterraines,
- du personnel exploitant de la zone nucléaire souterraine,
- du personnel « minier », de chantier et de support,
- des déblais et des remblais,
- des machines nécessaires à la construction ou à l'exploitation des installations souterraines,
- de l'air soufflé et extrait.

Enfin, les installations souterraines permettront d'assurer :

- la mise à disposition de galeries et d'alvéoles de stockage (activités d'excavation, de soutènement et d'équipement de ces galeries et alvéoles),
- le transfert de déblais et de remblais entre la zone centrale de soutien et les autres zones,
- le transfert de matériaux et des composants ouvragés vers les zones souterraines en cours d'aménagement,
- le transfert du personnel dédié aux chantiers souterrains et à l'exploitation,
- le transfert de machines nécessaires aux chantiers souterrains,
- le transfert de hottes contenant des colis de stockage entre la zone centrale de soutien et les alvéoles cibles,
- l'accostage des hottes de transfert aux alvéoles ou à certains de leurs composants,
- l'emplacement et le stockage des colis dans leurs alvéoles cibles,
- le relais de la ventilation,
- la fermeture et/ou le scellement d'alvéoles, de modules de stockage, de galeries,
- le retrait, au titre de la réversibilité, de colis de stockage et la chaîne cinématique de transfert inverse vers la surface.

L'Andra présente [2] une architecture générale du stockage induisant en fonctionnement normal la concomitance d'activités d'exploitation nucléaire et de travaux souterrains, et la séparation des différents flux, incluant les flux de ventilation. L'Andra a précisé au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) que la séparation des activités est une disposition permettant d'assurer les fonctions suivantes :

- le confinement de la zone nucléaire vis-à-vis de la zone en construction dans toutes les situations de fonctionnement,



- l'évacuation du personnel présent dans les zones du fond en situation accidentelle, notamment en cas d'incendie (en conservant toujours une voie d'évacuation disponible dans l'une ou l'autre des zones d'activités),
- la protection radiologique des personnes vis-à-vis des sources radioactives présentes en zone nucléaire.

L'évaluation par l'IRSN de la sûreté des opérations menées dans les installations souterraines, en prenant en compte les risques liés à la coactivité, est présentée dans le paragraphe 5.2.8 du présent rapport.

## 4.2.2 FLUX DANS LES INSTALLATIONS SOUTERRAINES EN FONCTIONNEMENT NORMAL

### 4.2.2.1 Installations de liaison jour-fond

#### *Flux de colis de stockage*

Pour ce qui concerne les éléments quantitatifs relatifs aux flux de colis de stockage par un funiculaire dans la descenderie (cf. paragraphe 4.1.2 du présent rapport), l'Andra a conçu diverses esquisses d'implantation de cette solution en tenant compte du REX d'installations industrielles. Toutefois, les caractéristiques de l'ouvrage de liaison assurant le transfert des colis entre les installations de surface et les installations souterraines du centre de stockage ne sont pas encore fixées (cf. lettre DMR/DIR/10-0063). L'Andra présente néanmoins [9] un système de transfert permettant la descente d'environ 2 500 colis dans leur hotte par an, tous types confondus. L'Andra a précisé pendant l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) que le dimensionnement des ouvrages et des systèmes de transfert correspondrait à un flux de l'ordre d'une dizaine de colis par jour, et qu'un « *programme de gestion des flux de colis et de véhicules* » sera mis en œuvre [1] et permettra d'analyser les risques particuliers liés à ces transferts dans la descenderie comme dans les installations souterraines.

#### *Autres flux*

L'Andra envisage [1] le transfert de l'ensemble du personnel par un puits réservé à cet effet (le passage en zone nucléaire s'effectuerait alors dans la zone centrale de soutien) et éventuellement par le tube de la descenderie non dédié au transfert de colis, réservé à un flux limité de matériels et/ou de personnel et à une issue de secours. De plus, deux puits de retour d'air « *sont réservés exclusivement* » à l'extraction de l'air des zones nucléaires et de travaux souterrains et au désenfumage, tandis que le soufflage est assuré en pleine section par les autres puits et la descenderie double tube, depuis la surface. Enfin, l'Andra envisage de faire transiter les autres flux relatifs aux travaux souterrains par un puits dédié, qui permettra le transfert des déblais/remblais et des matériaux et composants nécessaires à l'équipement de l'installation souterraine.

Pour ce qui concerne les éléments quantitatifs relatifs aux flux de roche excavée et de béton, qui constituent les volumes transférés les plus importants, l'Andra fournit [9] quelques éléments permettant d'apprécier les ordres de grandeur prévisionnels. Ainsi, pendant la première phase de travaux (cf. paragraphe 4.2.1 du présent rapport) environ 1 100 000 m<sup>3</sup> de déblais seront transférés à la surface et 440 000 m<sup>3</sup> de béton seront nécessaires à la construction des infrastructures de liaison jour-fond et de la zone centrale. A ces volumes s'ajoutent ceux qui transiteront par la suite par le puits de travaux, à savoir environ 6 000 000 m<sup>3</sup> de déblais et 2 200 000 m<sup>3</sup> de béton pour la durée d'exploitation du stockage. L'IRSN relève que ces volumes sont importants (plusieurs dizaines de milliers de m<sup>3</sup>/an uniquement pour la remontée des déblais, i.e. un ordre de grandeur de 200 m<sup>3</sup>/jour) et nécessiteront au moins un taux élevé de disponibilité du puits de travaux et une maîtrise avancée des différentes situations de blocage de la chaîne cinématique relative aux travaux souterrains. Selon les informations recueillies

par l'IRSN, l'ordre de grandeur présenté par l'Andra semble cohérent avec un savoir-faire minier existant, permettant d'excaver jusqu'à 5 000 t/jour<sup>5</sup>.

#### 4.2.2.2 Installations souterraines

##### *Organisation générale des flux dans les installations souterraines*

En cohérence avec le principe de séparation des activités nucléaires et de travaux retenu, l'Andra présente [9] une architecture organisée autour de cheminements dédiés à chacune de ces deux grandes activités de l'installation souterraine. Pendant l'instruction, l'Andra a précisé (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) que la conception de l'architecture souterraine cherche à minimiser le nombre de croisements entre galeries type « travaux » et galeries type « nucléaire » et que dans le cas de croisements, afin de séparer les flux, les galeries sont alors situées à des niveaux différents (cf. paragraphe 4.1.2 du présent rapport).

La cartographie du stockage fait toutefois apparaître des interfaces inévitables, dans le même plan, entre ces zones à vocations différentes : c'est le cas en particulier, dans la zone centrale de soutien, ainsi que des galeries de liaison qui desservent les modules ou alvéoles en travaux et ceux en exploitation, notamment des « recoupes » (cf. paragraphe 4.1.2 du présent rapport) entre deux galeries au droit d'alvéoles de stockage. A cet égard, l'Andra a présenté au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) un concept de « sas » permettant d'assurer en particulier les fonctions de séparation physique et de séparation des flux d'air ainsi que, en fonctionnement incidentel ou accidentel, d'évacuation du personnel entre ces zones. L'examen de ces sas au regard des risques de co-activité et notamment des risques liés à l'incendie et à la dissémination de matières radioactives est présentée au paragraphe 5.2.8 du présent rapport.

##### *Flux de colis de stockage*

Pour ce qui concerne le transfert des hottes contenant les colis de stockage depuis la zone centrale de soutien (station basse de la descenderie) vers leur alvéole cible, l'option de référence retenue par l'Andra (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) consiste à envisager un premier transfert depuis le funiculaire sur un véhicule de transfert, et « un transbordement [...] à l'intersection entre la galerie de liaison et la galerie d'accès aux alvéoles de stockage », ci-après appelé « point de transbordement ». A cette fin, l'Andra retient une combinaison de deux solutions techniques, à savoir :

- un transfert entre la zone centrale et le point de transbordement en zone de stockage par un véhicule sur pneus (l'utilisation d'une navette de transfert sur rails étant une alternative),
- un transfert entre le point de transbordement et l'alvéole de stockage par une navette d'accostage sur rails (l'utilisation d'une navette d'accostage sur pneus étant une alternative).

L'Andra a en outre indiqué au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) que des garages de hottes (pleines ou vides) sont envisagés dans la zone centrale. Les flux envisagés pour le transfert des colis dans les installations souterraines sont néanmoins identiques (une dizaine de colis par jour) à ceux présentés dans le paragraphe relatif aux installations de liaison jour-fond.

L'Andra précise [2] ces différents moyens de transfert, ainsi que des aménagements de galeries et d'intersections pour les accueillir ; dans les différents cas envisagés, le principe de propulsion retenu est un moteur électrique, alimenté soit par un dispositif de type « trolley » ou un rail sous tension pour les longues distances, soit par un système de batteries embarqué, pour les petites distances (navette d'accostage au droit des modules MAVL). L'Andra indique [1], en termes d'objectifs poursuivis, que tous les procédés de transfert de colis de stockage de

---

<sup>5</sup> Pour une densité de l'argilite du Callovo-Oxfordien de 2 300 kg/m<sup>3</sup>, cela équivaudrait à une quantité excavée d'environ 2 200 m<sup>3</sup>/j.

déchets peuvent se faire de manière entièrement automatisée avec du personnel déporté en salle de commande, à grande distance des colis transférés, afin de limiter la présence de personnel à leur proximité. L'examen par l'IRSN de l'analyse des risques liés aux opérations de manutention est présenté au paragraphe 5.2.6 du présent rapport.

Enfin, il est à noter que la « *navette d'accostage* » utilisée pour les alvéoles MAVL est différente de celle pour les alvéoles HA, cette dernière présentant la particularité d'embarquer également les dispositifs de transfert des colis de stockage en alvéole (cf. ci-avant).

#### *Transfert de colis en alvéole*

Au-delà de sa fonction de transfert des hottes depuis le point de transbordement jusqu'à l'alvéole de stockage cible, la « *navette d'accostage* » présentée par l'Andra a également pour fonction de permettre la connexion de la hotte à des dispositifs dédiés permettant l'emplacement des colis de stockage.

Pour ce qui concerne le transfert des colis de stockage MAVL dans leur alvéole, l'Andra présente [2] une option de référence consistant à translater la navette d'accostage à l'intérieur du module MAVL (cf. exemple Figure 16), puis à l'accoster à « *la porte d'accostage* » marquant l'interface avec une « *cellule de manutention* » en tête d'alvéole [2]. L'Andra précise que cette porte et la hotte ainsi accostée assurent une continuité de la protection contre les rayonnements ionisants. Ensuite, le colis de stockage est extrait de la hotte grâce à une mécanique dédiée, puis transféré vers l'intérieur de la cellule de manutention, où il est déposé sur le plateau d'une « *table de réception* ». L'Andra présente trois procédés de manutention des colis de stockage à l'intérieur des alvéoles MAVL car « *la diversité des colis MAVL, de dimensions et de masse variables (de moins de 10 t à environ 30 t), conduit à garder à ce stade différents processus de mise en place des colis* » (cf. lettre DMR/DIR/10-0062), et précise qu'« *à chaque alvéole de stockage, est associé un seul processus de mise en stockage et un type de colis de stockage donné* » (cf. lettre DMR/DIR/10-0062). A chaque procédé de manutention présenté [17] correspond une séquence qui consiste à (i) manipuler le colis dans la cellule de manutention, isolée de la partie utile, (ii) ouvrir les portes de radioprotection (cf. Figure 9), (iii) déplacer et positionner le colis dans la partie utile de l'alvéole (sur deux ou trois rangées et deux ou trois niveaux de gerbage), (iv) ramener l'outil de manutention dans la cellule de manutention et (v) refermer les portes de radioprotection. Ces trois procédés sont décrits ci-après :

Le premier procédé, dit de « *pré-empilage* » [17], consiste (cf. Figure 15) à former dans la cellule de manutention une pile complète (deux à trois colis de stockage) à l'aide d'un « *portique de manutention* », puis à transférer cette pile sur un transbordeur (ou « *chariot porteur* »). Le transbordeur roule ensuite sur des rails, dépose la pile de colis à son emplacement cible, puis revient se positionner dans la cellule de manutention. L'Andra précise [2] que ce procédé est dédié à la mise en stockage de colis de dimensions importantes, ce qui correspond à une pile de masse environ 60 t.

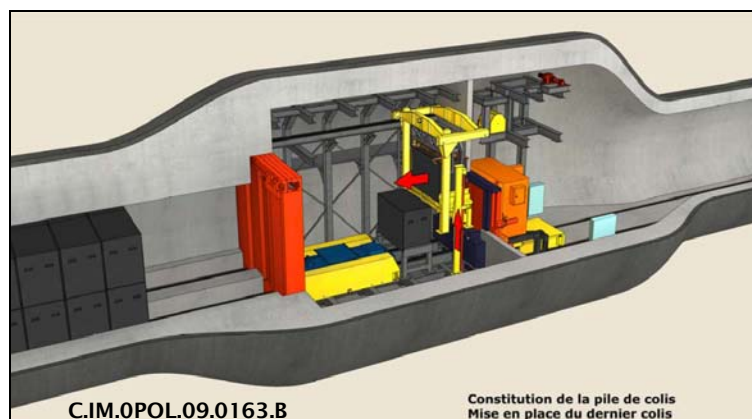


Figure 15 : Formation d'une pile de colis par le procédé de "pré-empilage" [17]

Le deuxième procédé, dit de « *mise en place individuelle avec chariot élévateur à fourche* » [17], était déjà présenté dans le Dossier 2005 en tant que solution privilégiée, et n'a pas évolué significativement sur le plan conceptuel. Pour rappel, il consiste à former les piles de colis directement à leur emplacement cible, dans la partie utile de l'alvéole (cf. Figure 16). Pour cela, un transbordeur (appelé « *stockeur à fourches* ») vient assurer la préhension du colis directement dans la hotte de transfert accostée à la cellule de manutention, recule et place le colis en position basse sur un « *plancher mobile transbordeur équipé d'une table tournante* », qui effectue une rotation à 180° et une translation du chariot élévateur de manière à la positionner face à la voie de stockage cible. Le chariot effectue une translation jusqu'à la pile cible de colis de stockage puis soulève le colis pour atteindre la hauteur de sa position finale de stockage, qui peut atteindre 3 m, et le dépose sur la pile cible. Enfin, le chariot, fourches en position basse, est ramené dans la cellule de manutention. L'Andra précise [2] que ce procédé s'applique pour des colis de petites dimensions, de masse de l'ordre de 15 t.

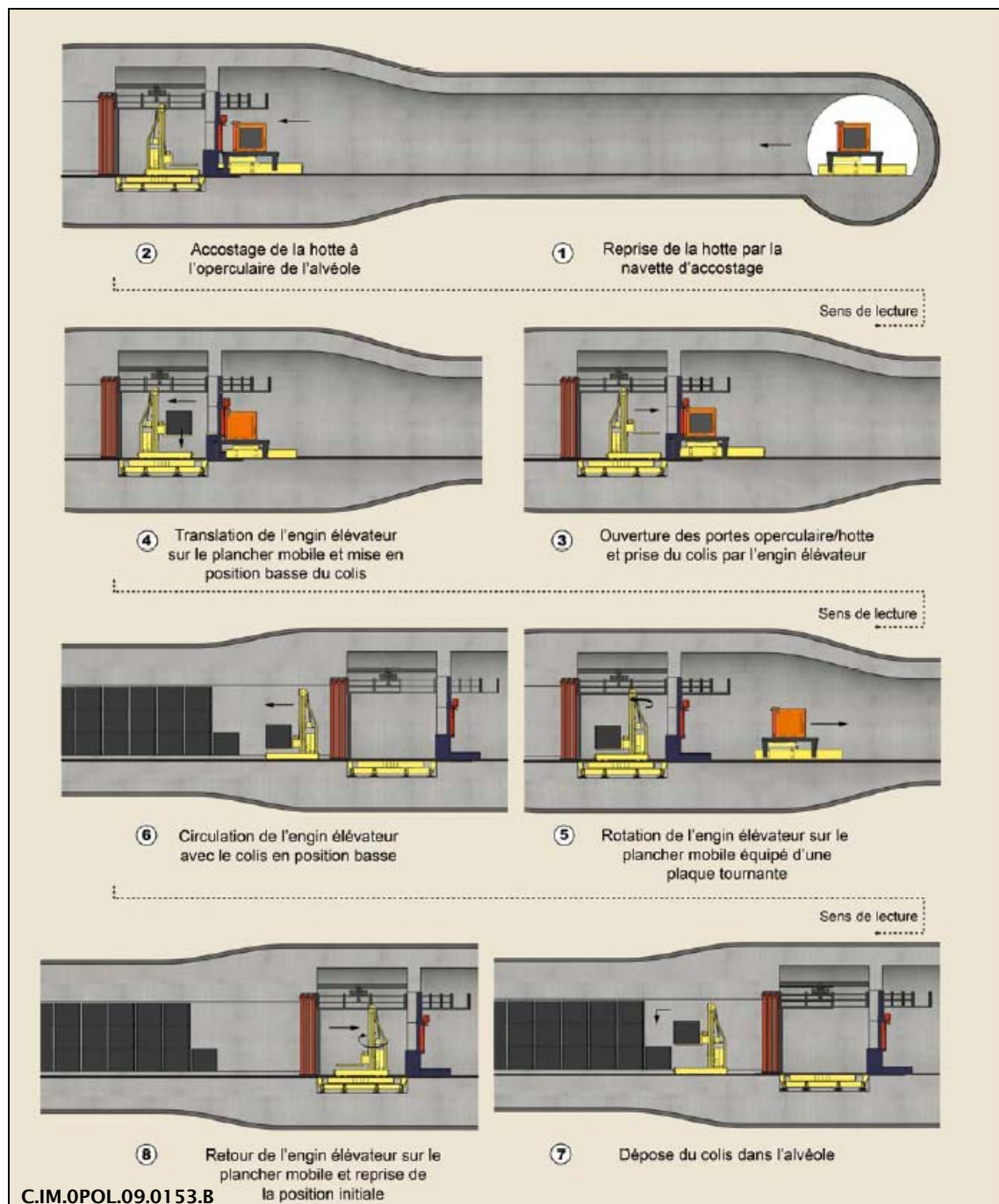


Figure 16 : Synoptique du procédé de dépôt des colis à l'aide d'un "stockeur à fourches" [17]

Le troisième procédé, dit de « *mise en place individuelle avec pont gerbeur* » [17], consiste à utiliser un pont roulant circulant en corniche de l'alvéole, sur des rails dédiés (cf. Figure 17). Une « *unité de mise à niveau* » prend en charge le colis dans la cellule de manutention et le positionne à la hauteur de sa position cible, sur une « *table de transfert* », puis le pont gerbeur vient assurer la préhension du colis au moyen de fourches et vient le positionner jusqu'à la rangée cible. Il est à noter que ce procédé privilégie un remplissage de l'alvéole par couches, par opposition aux deux autres qui présentent un remplissage par empilements successifs depuis le fond jusqu'à la tête de l'alvéole. Le pont gerbeur dépose alors le colis et vient se repositionner dans la cellule de manutention. L'Andra précise, dans [2], que ce procédé s'applique pour des colis de petites dimensions, de masse de l'ordre de 10 t.

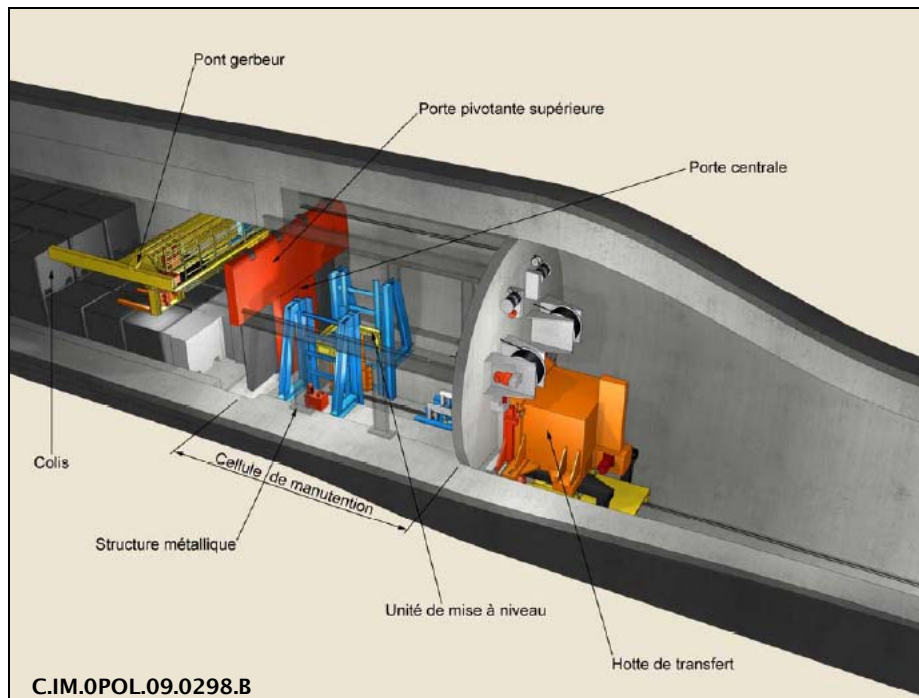


Figure 17 : Implantation des équipements du procédé de stockage avec "pont gerbeur" [17]

L'Andra estime [17] dans son analyse comparative des différents modes de mise en alvéole des colis MAVL que le premier procédé concerne environ les deux tiers des colis de stockage à transférer et que le deuxième et le troisième procédés seraient respectivement applicables à environ un quart et un dixième des colis. L'Andra considère [21] une durée de remplissage d'un alvéole MAVL de l'ordre de quatre années.

Pour ce qui concerne les colis de stockage HA et CU3, une navette d'accostage transporte, depuis le point de transbordement, à la fois la hotte de transfert et les dispositifs permettant l'accostage et la mise en place du colis dans l'alvéole. Dans le Dossier 2005, l'Andra présentait un procédé unique basé sur l'utilisation d'un « *robot pousseur* » pour transférer les colis de stockage dans leur alvéole cible. L'Andra présente dans le Dossier 2009 deux procédés de mise en alvéole destinés à être utilisés successivement pour le remplissage de l'alvéole.

Le premier procédé permet de positionner le colis dans l'insert ; il se base [11] sur l'utilisation d'une « *chaîne pousseuse* » (cf. Figure 18). Dans un premier temps, la hotte est accostée à l'operculaire de l'alvéole de manière à assurer la continuité de la barrière de radioprotection, puis l'ouverture simultanée de la hotte et de l'operculaire est déclenchée. Ensuite, le colis est extrait hors de la hotte par la tête de poussée de la chaîne pousseuse (cf. Figure 18), qui vient le placer dans l'insert au contact d'un autre colis ou d'un intercalaire, et pousse le colis ou le groupe de colis ainsi constitué de manière à libérer la tête de l'insert, pour permettre l'introduction ultérieure d'un nouveau colis de stockage. Enfin, la tête de poussée est ramenée dans la hotte de transfert, celle-

ci est refermée avec l'operculaire de l'alvéole, puis désaccostée. La navette et ce qu'elle transporte (hotte et chaîne pousseuse) sont alors évacués.

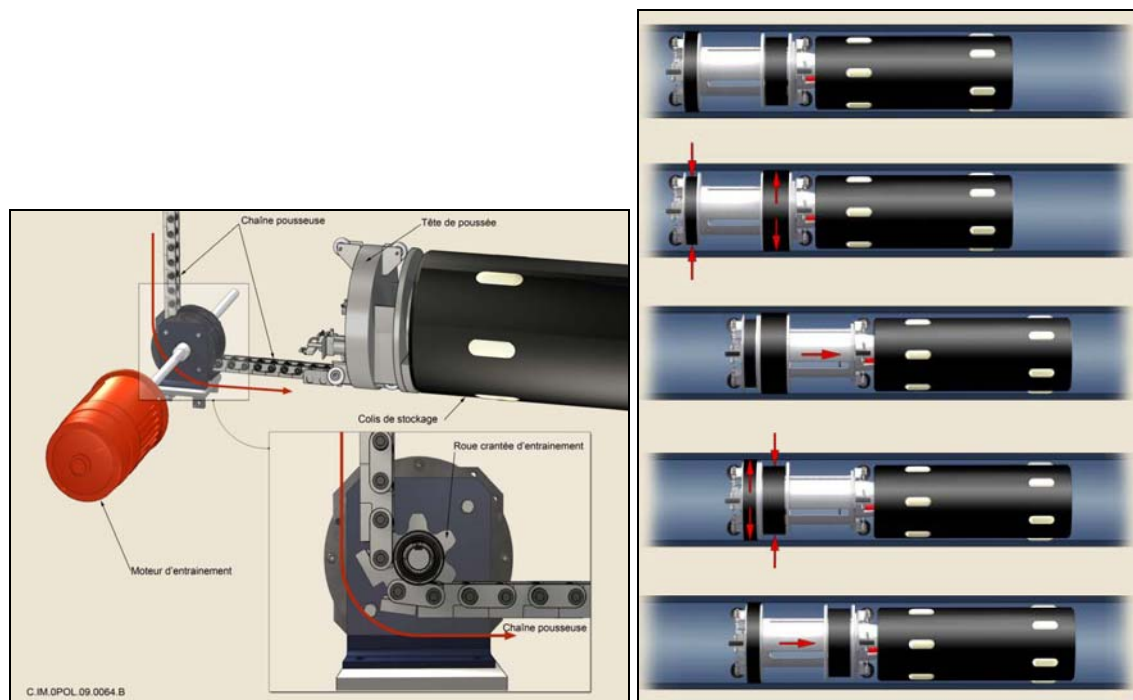


Figure 18 : Principe de fonctionnement d'une « chaîne pousseuse » [11] (gauche) - Principe de fonctionnement d'un « robot pousseur » (l'ombilical n'est pas représenté) [11] (droite)

Lorsque l'insert est rempli d'un groupe de colis, un second procédé (cf. Figure 18) permet de pousser ce groupe jusqu'à sa position finale, dans la partie utile de l'alvéole. Celui-ci est basé sur l'utilisation du « *robot pousseur* », évoqué précédemment. Depuis le premier prototype présenté dans le Dossier 2005, l'Andra a fait évoluer le concept initial vers une seconde version, dont un prototype sert actuellement de démonstrateur intégré dans une maquette de hotte et un banc d'essai automatisé en surface. Le principe de fonctionnement de ce robot est de se positionner contre le groupe de colis situé dans l'insert, puis d'appliquer une poussée par un vérin axial sur le premier colis, la reprise de cet effort étant assurée par des vérins radiaux gonflants qui s'appuient sur le chemisage. Afin de permettre notamment l'admission en air comprimé, un ombilical fixé sur le robot est relié à l'extérieur de l'alvéole sur la navette d'accostage, à travers une hotte comparable aux hottes de transfert, qui contient le robot en position de garage. La succession du gonflement des vérins radiaux situés à l'avant et à l'arrière du robot, intercalée avec la poussée du vérin axial, assure la translation du groupe de colis jusqu'au fond de l'alvéole. A la fin de la séquence, les vérins sont relâchés et le robot est ramené directement à sa position de garage dans la hotte.

L'Andra précise [11] que le système de robot pousseur est doté des fonctionnalités permettant la mise en place complète d'un colis depuis sa hotte jusqu'au fond de l'alvéole cible, mais que l'intérêt de combiner ce système avec celui de la chaîne pousseuse réside dans la flexibilité offerte dans le processus de transfert, et la réduction du temps d'immobilisation du robot pousseur et de sa hotte accostée à l'operculaire de l'alvéole par la mise en place d'un train de plusieurs colis, préalablement placé dans la tête d'alvéole par le dispositif de chaîne pousseuse.

Enfin, l'Andra indique [21] que la durée de chargement d'un alvéole HA est évaluée à une vingtaine de jours, celle d'un module d'exploitation HA étant de l'ordre d'une dizaine d'années.

### *Flux relatifs aux chantiers*

Outre les activités d'exploitation nucléaire, des activités non nucléaires de creusement, soutènement, revêtement et équipement des ouvrages souterrains, dans la « zone de chantier », sont menées dans les installations souterraines. L'Andra précise (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) que l'ensemble de ces activités génère un flux de personnel plus important que dans la zone d'exploitation dans laquelle les opérations sont souvent basées sur une grande automatisation des procédés.

Pour ce qui concerne l'excavation, l'Andra estime [9] que le volume annuel excavé variera de 60 000 m<sup>3</sup>/an pour la construction de zones de stockage HA, à 90 000 m<sup>3</sup>/an pour celle des zones de stockage MAVL. Ces chiffres sont à mettre en rapport avec les débits de chacune des solutions envisagées pour l'excavation, à savoir de 35 m<sup>3</sup>/h pour les machines à attaque ponctuelle, 100 m<sup>3</sup>/h pour les tunneliers et 1 à 5 m<sup>3</sup>/h pour les microtunneliers ou les machines de foration. A titre d'illustration et pour fixer les ordres de grandeur, l'Andra précise [21] que le temps nécessaire à l'excavation et à l'équipement d'un alvéole MAVL est de l'ordre de deux ans, en prenant en compte notamment une avancée de l'excavation de 3 m/jour. Le transfert des déblais et des remblais sera effectué [9] principalement par des camions, éventuellement secondés par des convoyeurs à bande sur de courtes distances, le transport par rail étant considéré comme une option alternative à ce stade.

Pour ce qui concerne le transfert et le coulage en place du béton, l'Andra estime [9] que les volumes nécessaires varient de 25 000 à 50 000 m<sup>3</sup>/an et indique que celui-ci est amené depuis la ZCS sur la zone de chantiers au moyen de « camions toupie » secondés par des « pompes à béton, éventuellement en série, qui assureraient le relais au sein du stockage ». L'IRSN estime que ces volumes sont à mettre en regard des capacités offertes par les camions toupie (environ 5 m<sup>3</sup>/camion), ce qui laisse envisager jusqu'à 10 000 rotations de camions par an dans les zones souterraines, soit un ordre de grandeur quotidien de l'ordre de plusieurs dizaines de rotations. De plus, l'Andra a confirmé pendant l'instruction qu'elle a identifié les besoins en béton dans la zone nucléaire, que ce soit pour des activités ciblées (reprises de béton sur les ouvrages souterrains, maintenance de gros équipements...) ou des opérations plus lourdes mettant en jeu de grands volumes (cas de la fermeture d'un alvéole MAVL), et a indiqué que ces chantiers seraient par essence nucléarisés et réalisés par du personnel formé aux risques nucléaires (cf. lettre DMR/DIR/10-0062), mais n'a pas présenté d'analyses des risques liés à ces activités. L'IRSN estime que ces activités, d'extensions diverses, *a priori* nombreuses voire récurrentes, feront en tout état de cause partie du fonctionnement normal de l'installation.

E11.4 | Aussi, l'IRSN considère que les travaux effectués dans la zone nucléaire mettant notamment en œuvre des moyens de transfert et de chantier lourds (reprises de béton dans les galeries, maintenance de composants et de gros équipements du stockage, fermetures d'alvéoles...) devront faire l'objet d'une analyse des risques ; ce type d'activité devra être inclus dans le domaine de fonctionnement normal de l'installation.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

### *Flux d'air*

L'Andra a indiqué au cours de l'instruction que, pendant la phase d'exploitation du stockage, les débits d'air soufflés et extraits des installations souterraines seraient compris entre 250 et 600 m<sup>3</sup>/s (cf. lettre DMR/DIR/10-0075), soit des débits horaires de l'ordre du million de m<sup>3</sup>. En vertu du principe de séparation des flux et des opérations entre les zones nucléaires et de travaux miniers, l'Andra indique [1] que les circuits d'amenée et de retour d'air dans les installations souterraines sont distincts pour chacune de ces zones. A ce titre, l'Andra prévoit la séparation des réseaux au niveau de la zone centrale de soutien, au moyen de registres et de clapets permettant le soufflage indépendant en pleine section des galeries de transfert des colis, et des zones de

chantier. Il est à noter que ces ordres de grandeur et ces grands principes de séparation sont similaires à ceux présentés par l'Andra dans le Dossier 2005, et que l'IRSN avait conclu lors de l'examen de ce dossier qu'un enjeu majeur en termes de sûreté résidait dans la démonstration de la suffisance des dispositions prises pour éviter les transferts d'air entre les deux zones, via les gaines ou les galeries de retour d'air.

En outre, ainsi que présenté au paragraphe 4.1.2 du présent rapport, pour ce qui concerne la zone de stockage MAVL, des galeries de retour d'air dédiées à l'extraction de l'air provenant de la ventilation des alvéoles de stockage sont équipées afin de diriger l'air vers un puits de retour d'air dédié à cette zone, ce qui constitue une nouveauté par rapport à la description des flux d'air présentée dans le Dossier 2005.

Enfin, pour ce qui concerne les zones HA et C0/CU3, dont les alvéoles ne sont pas ventilés, les circuits de retour d'air et de désenfumage en cas d'incendie sont en revanche communs et dirigés vers le puits de retour d'air général du stockage, situé dans la zone centrale de soutien.

L'examen par l'IRSN de l'analyse des risques liés à la ventilation et à la dissémination de matières radioactives est présenté au paragraphe 5.2.1 du présent rapport.

## **5 EVALUATION DE SURETE EN PHASE D'EXPLOITATION**

Ce chapitre présente l'examen par l'IRSN de l'analyse des risques effectuée par l'Andra pour ce qui concerne la phase d'exploitation du stockage. Il est divisé en trois parties : la première partie présente l'examen de l'analyse des risques dans les installations de surface, et inclut notamment l'examen de l'étude réalisée par l'Andra en matière de besoins en capacités d'entreposage ; les seconde et troisième parties présentent l'examen de l'analyse des risques respectivement d'origines interne et externe dans les installations de liaison jour-fond et les installations souterraines.

### **5.1 ANALYSE DES RISQUES DANS LES INSTALLATIONS DE SURFACE**

#### *5.1.1 INSTALLATIONS NECESSAIRES AU PROCESSUS DE STOCKAGE*

L'Andra décline de manière classique l'ensemble des risques (origine nucléaire ou non, origine interne ou externe) auxquels seront soumises les installations de surface, et présente leurs origines ainsi que les options techniques retenues à ce stade du projet concernant les dispositions de prévention, de surveillance et de détection associées, et les moyens envisagés pour en limiter les conséquences. L'IRSN observe, à ce stade, que les études de risques sont encore très succinctes. Compte tenu du calendrier général de mise en œuvre du stockage, notamment des dates envisagées de réception des premiers colis dans les installations de surface (au-delà de 2025) et du retour d'expérience important dans l'industrie nucléaire pour la conception et la construction d'installations de ce type, l'IRSN ne relève aucun obstacle à l'exploitation, en temps voulu, d'installations présentant un niveau de sûreté satisfaisant.

En tout état de cause, le dimensionnement des dispositifs essentiels pour la sûreté devra être présenté dans le dossier accompagnant la DAC, incluant certains éléments situés en surface (têtes de puits, ventilation...). Ces dispositifs devront tenir compte de l'environnement industriel. Or, l'IRSN observe que cet environnement sera profondément modifié au cours du temps. Aussi, ce point devrait être considéré dans le dossier de DAC.

#### *5.1.2 INSTALLATIONS D'ENTREPOSAGE*

L'Andra rappelle [5] que la loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, (cf. annexe 2 du présent rapport), qui dispose notamment que l'Andra coordonne



les études relatives à l'entreposage des déchets HA et MAVL, « a retenu le stockage réversible en formation géologique profonde comme l'option de référence pour la gestion à long terme des déchets HA et MAVL. Dans ce cadre, l'entreposage ne vise pas à constituer une voie alternative à celle du stockage géologique profond. Il est étudié dans une optique de complémentarité avec le stockage réversible ».

L'Andra présente ainsi dans le Dossier 2009 les résultats de ces études et sa démarche d'analyse. Cette dernière repose en premier lieu [5] sur la réalisation d'« esquisses de chroniques de stockage », présentant les flux de colis de déchets destinés à être stockés au fur et à mesure de l'exploitation de l'installation de stockage. Ces esquisses amènent en second lieu l'Andra à identifier des besoins en termes de capacités d'entreposage en prenant en compte les déchets existants et des données issues de scénarios de production de déchets. Enfin, à partir de cette identification, une dernière étape explore des concepts d'installations d'entreposage, en complément du stockage.

Afin de réaliser ses « esquisses de chroniques de stockage », l'Andra se fonde sur les données figurant dans l'inventaire national de 2009. A cet égard, l'IRSN constate que l'inventaire national se distingue notamment du MID présenté dans le Dossier 2009 par l'échelonnement retenu pour le traitement du combustible usé (quantités et natures des matières nucléaires considérées), ce qui a des conséquences sur les flux annuels de production de colis de déchets vitrifiés (HA) et de déchets compactés (MAVL), ainsi que sur certaines de leurs caractéristiques. Ainsi, si le principe de l'étude menée par l'Andra n'est pas remis en cause, l'IRSN considère toutefois que les données utilisées pour évaluer les besoins en termes de capacités d'entreposage et celles utilisées pour dimensionner le stockage devraient être cohérentes entre elles.

E18.1 | Aussi, l'IRSN considère que dans le cadre du PNGMDR et dans l'optique d'un approfondissement de l'étude relative aux chroniques de mise en stockage des colis, l'Andra devra mettre en cohérence les hypothèses utilisées pour évaluer les besoins en termes de capacités d'entreposage et pour dimensionner l'installation de stockage.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

Par ailleurs, l'Andra indique que pour évaluer les besoins en termes de capacités d'entreposage, les moyens de transports nécessaires (nombre d'emballages, de camions, impact sur les réseaux ferroviaire et routier...) n'ont pas été considérés. Aussi, l'IRSN attire l'attention sur le fait qu'il conviendra que l'Andra s'assure, dans la suite de ses études, que cette évaluation n'est pas remise en cause au regard des moyens de transport qui pourront effectivement être mis en œuvre.

Le détail des « esquisses de chroniques de stockage » présentées par l'Andra fait apparaître les éléments suivants :

- pendant les premières années de l'exploitation de l'installation de stockage, la priorité de l'acheminement des déchets est donnée aux déchets MAVL actuellement entreposés dans des installations relativement anciennes (exemple : CEA/Marcoule, notamment l'atelier de vitrification (AVM)) ;
- entre 2025 et 2050, la réception des colis de déchets MAVL passe par un pic puis décroît, et les premiers colis de déchets HA faiblement exothermiques sont acheminés. Cette période se caractérise notamment par l'exploitation de plusieurs modules de stockage MAVL en parallèle, adaptés à différents types de colis, ainsi que de modules de stockage de déchets C0 et CU3 ;
- au-delà de 2050, l'acheminement de colis de déchets MAVL diminue jusqu'à devenir nul autour de 2080, tandis que la mise en stockage des colis de déchets HA fortement exothermiques s'échelonne jusqu'à un horizon 2120-2150.

Sur cette base, l'Andra a donc identifié des besoins en termes de capacités d'entreposage échelonnés au cours de l'exploitation du stockage : le nombre d'installations à construire pourrait varier entre cinq et six, pour des durées

d'exploitation comprises entre 60 ans et 105 ans (cf. annexe 10). L'Andra intègre également à ces besoins les contraintes liées à la réversibilité, en particulier la mise à disposition de capacités d'entreposage en cas de retrait des colis de leur alvéole de stockage.

L'IRSN estime que, sur le plan des principes, la priorité de mise en stockage des colis de déchets entreposés dans les installations les plus anciennes présente un intérêt indéniable du point de vue de la sûreté. L'IRSN considère que la démarche générale adoptée par l'Andra, prenant en compte à la fois les installations d'entreposage existantes et futures, est satisfaisante. Toutefois, certaines durées envisagées d'entreposage paraissent particulièrement longues au regard du retour d'expérience de l'exploitation des installations existantes. Or, seul le réexamen périodique de sûreté des installations d'entreposage concernées permet d'apprécier si leur exploitation peut raisonnablement être prolongée jusqu'aux échéances retenues dans le scénario de mise en stockage. A cet égard, l'IRSN rappelle que le projet de stockage géologique présenté par l'Andra retient une durée d'exploitation de l'ordre du siècle, durée à prendre en compte pour évaluer les chroniques d'entreposage et de stockage.

E18.2 | D'une manière générale, l'IRSN considère que l'Andra devra, dans le cadre du PNGMDR et lors de la prochaine mise à jour de son évaluation des besoins en capacités d'entreposage, tenir compte notamment des évolutions des installations d'entreposage existantes et du retour d'expérience de leur exploitation, sous réserve de la mise à disposition de l'Andra de ces informations.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

Sur la base de son estimation des besoins en termes de capacités d'entreposage de colis de déchets, l'Andra présente divers concepts d'installations d'entreposage qui pourraient être construites dans le cadre d'une réponse industrielle aux besoins identifiés. L'IRSN constate que l'Andra explore les concepts d'installations existantes sur le territoire français et à l'étranger et étudie des concepts nouveaux (installations d'entreposage à faible profondeur), à des fins de comparaison.

En particulier, l'IRSN observe que pour étudier et comparer les différents concepts d'installations d'entreposage de colis de déchets HA ou MAVL, l'Andra prend notamment en considération la maîtrise des risques internes et externes, l'impact environnemental, la surveillance de l'installation, la capacité à agir sur les colis de déchets entreposés, plus globalement la sûreté et la radioprotection. De plus, l'Andra étudie la possibilité d'entreposer au sein d'installations conçues comme polyvalentes des colis primaires, des colis de stockage, et des colis de stockage récupérés en cas de mise en œuvre de leur récupération au titre de la réversibilité du stockage. Ceci n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN sur le plan des principes.

En tout état de cause, l'IRSN considère qu'au vu du retour d'expérience important de la conception et de l'exploitation d'installations d'entreposage, il n'existe pas, à ce stade, d'obstacles majeurs à la mise en œuvre d'installations d'entreposage, le moment venu.

## 5.2 ANALYSE DES RISQUES D'ORIGINE INTERNE DANS LES INSTALLATIONS DE LIAISON JOUR-FOND ET SOUTERRAINES

### 5.2.1 RISQUES LIÉS À LA DISSEMINATION DE MATIÈRES RADIOACTIVES

#### *Confinement des matières radioactives*

Dans le Dossier 2009 [1], l'Andra retient le double objectif d'assurer (i) le confinement des matières radioactives et la permanence d'au moins un système de confinement entre les zones contaminées et les zones non

contaminées ou l'environnement et (ii) de maintenir un niveau de contamination aussi faible que possible dans les locaux de l'installation et limiter les rejets de substances radioactives à l'extérieur de l'installation en fonctionnement normal.

Pour ce faire, l'Andra définit des systèmes de confinement de l'installation : (i) le premier système de confinement, au plus près de la matière radioactive, est constitué de barrières de confinement statique (colis primaire ou matrice d'enrobage) ; (ii) le second système de confinement est constitué par d'autres barrières de confinement statique et le cas échéant dynamique (ventilation des installations souterraines...).

L'Andra a indiqué au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0075) les différentes barrières de confinement qu'elle retenait pour les différentes étapes de la chaîne cinématique, résumées dans le Tableau 4.

Etapas de la chaîne cinématique	Types de déchets	Premier système de confinement	Deuxième système de confinement	
		<i>Confinement statique</i>	<i>Confinement statique</i>	<i>Confinement dynamique</i>
Transfert des colis dans les liaisons jour - fond	HA	Colis primaire	Colis de stockage	Pas nécessaire
	MAVL	Colis primaire	Génie civil de l'ouvrage de liaison, portes et sas de confinement	Ventilation de la descenderie
Transfert des colis dans les galeries de liaisons et les galeries d'accès	HA	Colis primaire	Colis de stockage	Pas nécessaire
	MAVL	Colis primaire	Génie civil des galeries, portes et sas de confinement	Ventilation des galeries
Accostage des hottes et mise en place du colis dans l'alvéole	HA	Colis primaire	Colis de stockage	Pas nécessaire
Accostage des hottes et extraction du colis	MAVL	Colis primaire	Parois de la hotte, paroi d'accostage, génie civil de la cellule de manutention et portes	Ventilation du module MAVL
Préparation des colis dans la cellule de manutention pour leur mise en alvéole	MAVL	Colis primaire	Génie civil de la cellule de manutention, paroi et portes	Ventilation du module MAVL
Colis en alvéole de stockage	HA	Colis primaire	Colis de stockage	Pas nécessaire
	MAVL	Colis primaire	Génie civil de l'alvéole et porte	Ventilation du module MAVL

Tableau 4. Barrières de confinement aux diverses étapes de la chaîne cinématique du stockage

L'IRSN note que le colis primaire de déchets constitue le premier système de confinement statique. En revanche, aucune exigence n'est attribuée par l'Andra aux deuxièmes barrières de confinement statique pour ce qui concerne les colis MAVL (exemples : génie civil, portes...). De plus, aucune précision n'est apportée sur le rôle de la hotte pour le confinement des matières radioactives pendant les opérations de transfert des colis (alors que cette hotte est considérée comme une barrière de confinement statique pendant son accostage à la cellule de manutention des alvéoles MAVL), ce qui est d'autant plus surprenant que le génie civil est retenu en tant que barrière d'étanchéité, alors qu'il apparaît *a priori* difficile de lui attribuer des exigences d'étanchéité.

En outre, l'IRSN constate que, si des essais de chute de colis de stockage MAVL dans des situations défavorables par rapport aux dimensions projetées de l'installation de stockage (hauteur de plusieurs mètres, impact sur un coin du colis...), apportent une certaine confiance dans la capacité du colis primaire de déchets MAVL à rester intègre, d'autres éléments de retour d'expérience relatif à des colis primaires existants montrent qu'une perte d'intégrité du colis primaire peut survenir pendant la phase d'exploitation. De plus, certains colis primaires existants ne sont pas conçus pour assurer le confinement des matières radioactives sur des durées compatibles avec la durée d'exploitation du centre de stockage.

L'IRSN considère que le colis primaire doit en effet constituer la première barrière de confinement. Toutefois, compte tenu de la nature des colis primaires de déchets MAVL existants, leur absence de perte d'intégrité reste difficile à démontrer. L'IRSN estime donc que considérer le colis primaire, en tant que barrière, comme intègre dans toutes les situations ne relève pas d'une approche prudente en matière de sûreté.

En conséquence, l'IRSN considère que l'approche développée par l'Andra pour la définition des différents systèmes de confinement statique, incluant leurs rôles respectifs dans la maîtrise des risques de dissémination de matières radioactives, apparaît fragile en l'état actuel.

- E4.1 | Aussi, l'IRSN considère que l'Andra devra définir, dans le dossier accompagnant la DAC, les exigences de sûreté associées à la deuxième barrière de confinement statique en tenant compte notamment de la défaillance du colis primaire en tant que première barrière de confinement, ainsi que les solutions techniques retenues.
- Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

L'IRSN considère que ceci apparaît d'autant plus nécessaire que, dans le cas du transfert de colis MAVL dans les installations souterraines, la classe de confinement C1-I, retenue comme « *option de référence pour la classe de confinement dans les galeries de la zone nucléaire* » (cf. lettre DMR/DIR/10-0075) ne peut raisonnablement pas être considérée comme une disposition de confinement dynamique, dans la mesure où elle n'inclut pas de systèmes de filtration de très haute efficacité. En outre, le classement de locaux en C1-I correspond à une valeur de contamination nulle dans ces locaux, en situation de fonctionnement normal, incidentel et accidentel. De plus, l'Andra envisage des débits d'air soufflé dans les installations souterraines de l'ordre de 1 à 2 millions de m<sup>3</sup>/h (cf. paragraphe 4.2.2 du présent rapport). A cet égard, l'IRSN souligne que ces débits importants ne permettent pas d'envisager de manière réaliste une filtration très haute efficacité (THE) complète de l'ensemble des espaces souterrains, et donc une option de classement de l'ensemble des locaux en classe de confinement C2. En effet, un étage de filtration THE possède un domaine de fonctionnement ne dépassant pas un débit de 1500 m<sup>3</sup>/h, ce qui amène à envisager, dans le cas de la mise en place d'une classe de confinement C2 pour l'ensemble des espaces souterrains, plus d'un millier d'étages de filtration en parallèle. L'IRSN considère que cette option induirait des contraintes d'exploitation sans commune mesure avec celles des installations nucléaires existantes, ainsi qu'un dimensionnement de la ventilation prenant en compte des pertes de charge particulièrement importantes.

Ainsi, l'Andra n'ayant pas présenté dans le Dossier 2009 d'options de conception visant à écarter une éventuelle contamination des locaux, l'IRSN estime qu'une contamination des locaux issue de la perte d'intégrité d'un colis primaire de déchets MAVL pourrait se propager le long des galeries sous l'effet de la ventilation en raison de l'absence de barrière de confinement statique. En outre, l'option de référence présentée par l'Andra ne comporte pas de zones de confinement de taille restreinte, où une ventilation de classe supérieure à C1 pourrait être mise en œuvre.

- R1 | Aussi, l'IRSN recommande que l'Andra, en plus des dispositions visant à assurer le confinement statique des colis de déchets dans les diverses situations de fonctionnement envisageables, précise, dans le dossier accompagnant la DAC, les dispositions qui permettraient de confiner l'activité relâchée dans des secteurs à définir, en cas de défaillance de ce confinement statique.

L'IRSN souligne que cette recommandation est liée à l'engagement pris par l'Andra en matière de confinement statique (cf. ci-après) dans toutes les zones du stockage, dans la mesure où, par exemple, la démonstration du maintien de l'intégrité des hottes de manutention (non ventilées) des colis de stockage pendant leur transfert

dans toutes les situations de fonctionnement pouvant conduire à une dispersion de matières radioactives à travers la première barrière d'étanchéité constituée par le colis primaire, n'est à ce jour pas réalisée par l'Andra.

#### *Conception et dimensionnement de la ventilation*

L'Andra a précisé au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0075) que, outre les textes réglementaires, les référentiels utilisés pour les choix et le dimensionnement de la ventilation sont la norme ISO 17873 et le guide CETREVE de ventilation des installations nucléaires.

L'Andra présente [1] [9] [23] les principes généraux guidant la conception des systèmes de ventilation :

- le respect des textes réglementaires (code du travail, réglementation relative aux travaux souterrains) et l'utilisation au cas par cas de référentiels spécifiques : recommandation R352 de la caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés et règlement général des industries extractives ;
- la séparation des circuits de ventilation des activités de travaux et d'exploitation nucléaire ;
- un système de ventilation extractif pour les zones de travaux ;
- une arrivée d'air en pleine section dans les galeries ;
- un retour d'air dans les galeries par gaines ou par galeries dédiées ;
- la prise en compte des risques radiologiques liés à l'exploitation nucléaire ;
- l'évacuation des fumées et l'évacuation du personnel en cas d'incendie.

L'IRSN estime que ces grands principes sont satisfaisants, mais rappelle que le choix de l'Andra de classer « C1 » les installations souterraines induit que la ventilation ne peut avoir de fonction de confinement dynamique des matières radioactives (cf. ci-après).

Par ailleurs, l'Andra a précisé durant l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0075) les options de sûreté retenues pour prendre en compte le développement progressif de l'installation, dans ses dimensions spatiales et temporelles. Celles-ci sont basées sur une adaptation de la ventilation aux phases relatives à la construction, à la mise à disposition et à l'exploitation de modules de stockage de la zone HA. L'IRSN estime qu'au vu du retour d'expérience d'installations minières de grande extension, il n'existe pas d'obstacles techniques majeurs à la faisabilité de cette adaptation de la ventilation au cours de l'évolution de l'installation. Toutefois, l'Andra n'a pas présenté la démarche mise en œuvre lors de l'ajout ou du retrait de la ventilation d'un alvéole MAVL.

E4.2

Aussi, l'IRSN considère que l'Andra devra présenter, dans le dossier accompagnant la DAC, les principes du pilotage de la ventilation et les dispositifs prévus pour ajuster les paramètres de ventilation et équilibrer le réseau dans toutes les situations de la phase d'exploitation du stockage.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

De plus, l'Andra indique [1] que la ventilation sera dimensionnée afin de participer à l'évacuation de la puissance thermique générée par les colis de déchets concernés dans les zones à proximité de ces colis, mais l'Andra précise par ailleurs [1] que « *les alvéoles HA et MAVL ne nécessitent pas de ventilation pour évacuer la puissance thermique des colis de stockage* ». Au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0075), l'Andra a toutefois ajouté que « *dans certaines galeries et zones, la présence d'équipements sensibles à la température (capteurs, matériel électronique embarqué ou fixe...) nécessitera de retenir des critères vis-à-vis de la température [qui seront] précisés pour la DAC* ». L'Andra présente [1] des options de sûreté et des critères relatifs aux températures de l'air, du béton, et de la formation hôte. Enfin, l'Andra indique [1] qu'à ce stade de la conception, la perte des systèmes de ventilation dans l'installation ne conduit pas à des situations inacceptables au regard des risques liés à l'élévation de la température, en particulier pour ce qui concerne le personnel ou les équipements sensibles à la température précités, mais l'IRSN relève l'absence de justification de cette conclusion au regard de tous les critères de température retenus ou restant à définir.

E5

L'IRSN considère que l'Andra devra compléter, dans le dossier accompagnant la DAC, la présentation des critères de température retenus et les dispositions prévues pour maîtriser les risques liés aux dégagements thermiques, et indiquer le rôle dévolu aux systèmes de ventilation quant au respect de ces critères, dans toutes les situations de fonctionnement.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

Pour ce qui concerne l'évacuation des gaz de radiolyse, l'Andra retient comme option de sûreté relative à la maîtrise des risques liés à l'explosion, les limites de concentrations suivantes :

- 25 % de la LIE<sup>6</sup> pour tous les locaux de l'installation ;
- 10 % de la LIE pour les locaux où le personnel est amené à intervenir.

L'Andra présente [23] des résultats de simulations effectuées dans le but d'évaluer la répartition de l'hydrogène dans les alvéoles MAVL, pour faire suite à l'avis formulé en 2006 par l'ASN à l'issue de l'examen du Dossier 2005, qui demande que « *le bien fondé des choix de concepts de stockage [soit] confirmé par des démonstrateurs d'ouvrages de stockage et des études relatives à la sûreté, [...] notamment pour les dispositifs de ventilation permettant de limiter le risque d'explosion dû à la présence de gaz de radiolyse* ». L'Andra annonce prévoir la validation de ces simulations numériques par des « *moyens de démonstration* » et présente de nombreuses perspectives d'amélioration des connaissances et des simulations effectuées jusqu'alors. En particulier, l'Andra présente [23] une étude basée sur des simulations numériques indiquant les délais d'atteinte des limites de concentration (rappelés ci-dessus) dans la hotte de transfert et dans un alvéole MAVL rempli, en cas d'arrêt de la ventilation. Il est à noter que l'Andra considère dans ces calculs de prédimensionnement que le colis de stockage et la hotte sont perméables aux gaz de radiolyse. A cet égard, l'Andra indique qu'elle prévoit (i) de confirmer la tenue mécanique de l'enveloppe des colis de stockage par un essai de diffusion de l'hydrogène au travers de cette enveloppe et (ii) d'évaluer les concentrations en hydrogène et en oxygène dans les hottes de transfert chargées afin de statuer sur la nécessité de mettre en place un dispositif d'évacuation de l'hydrogène. L'IRSN considère que la démarche visant à identifier les dispositions nécessaires en matière de maîtrise de la concentration de l'hydrogène dans les zones concernées est satisfaisante. L'IRSN attire toutefois l'attention sur la nécessité de ne pas relâcher les exigences importantes de confinement statique (cf. ci-après) en attribuant des fonctions d'évacuation de gaz explosibles à la hotte.

Toutefois, l'IRSN constate que la démarche de l'Andra pour la prise en compte des risques d'explosion de gaz de radiolyse reste à ce stade essentiellement basée sur les simulations numériques pour ce qui concerne l'évacuation des gaz explosibles par les systèmes de ventilation. Bien que le Dossier 2009 présente un nouveau concept d'alvéole « passante » (cf. paragraphe 4.1.2) notablement différent de celui présenté dans le Dossier 2005, les considérations relatives à la difficulté de modélisation du remplissage des alvéoles et de l'absence de « zones mortes » au sens aéraulique restent entières. L'IRSN considère donc que la demande de l'ASN reste d'actualité quant à la nécessité de confirmer les choix techniques par des démonstrateurs d'ouvrages.

## 5.2.2 RISQUES LIÉS A L'EXPOSITION INTERNE ET EXTERNE

### *Origine du risque*

Les risques liés à l'irradiation et à la contamination interne proviennent de la présence de matières radioactives dans les colis de déchets transférés dans l'installation de stockage. L'Andra précise [1] que l'exposition interne

<sup>6</sup> LIE : la Limite Inférieure d'Explosivité définit la borne inférieure de l'intervalle de concentrations limites d'un gaz dans l'air à l'intérieur duquel ce gaz est susceptible de s'enflammer et d'exploser. Dans cet exemple, si la concentration en hydrogène dépasse la LIE, le mélange ainsi formé est explosible.

peut provenir de la contamination surfacique labile externe des hottes et des colis de stockage et de l'émission de radionucléides gazeux par les colis de déchets, et que l'exposition externe peut résulter de la présence des colis de déchets, eux-mêmes irradiants.

#### *Objectifs en matière de protection contre les rayonnements ionisants*

L'Andra s'appuie [1], pour ce qui concerne la radioprotection, sur les principes généraux présentés dans la publication n° 103 de la CIPR<sup>7</sup>, ainsi que sur la réglementation en vigueur. Cette dernière inclut notamment le Code du Travail et le Code de la Santé Publique.

L'objectif poursuivi par l'Andra en termes d'impact radiologique sur le personnel et l'environnement, pour les situations accidentelles, est de limiter les rejets gazeux et liquides afin que la dose par irradiation ne dépasse pas les quelques millisieverts. L'IRSN estime que, bien que l'exploitant puisse se fixer un critère en termes de dose pour conduire ses études, sa démonstration de sûreté ne doit pas se restreindre au respect de ce critère. Par conséquent, il conviendrait que l'Andra ne base pas sa démonstration sur le respect d'un tel critère mais qu'il démontre que les dispositions ont été prévues pour limiter les conséquences radiologiques des situations accidentelles sur les personnes et l'environnement, en tenant compte de toutes les voies d'exposition.

#### *Analyse des risques*

L'Andra indique [1] que « *l'exposition interne des travailleurs et du public à des poussières radioactives doit être rendue impossible lors du fonctionnement normal des installations* ». A cette fin, l'Andra retient [1] deux grands principes de prévention des risques de contamination interne en fonctionnement normal, à savoir (i) la limitation de la contamination labile des colis de déchets et de stockage, à travers notamment des critères d'acceptation assortis de dispositions de contrôle et de surveillance, et (ii) le confinement des matières radioactives, à travers « *la permanence d'au moins un système de confinement* » s'interposant entre zones contaminées et zones non contaminées.

L'IRSN considère que ces principes de prévention sont acceptables, mais rappelle les conclusions relatives aux systèmes de confinement de l'installation, présentées dans le paragraphe 5.2.1 du présent rapport, en particulier la nécessité pour l'Andra de définir une barrière de confinement supplémentaire dans le cas où la démonstration de la capacité du colis primaire de déchets MAVL à confiner la matière radioactive dans toutes les situations étudiées ne serait pas possible.

Pour ce qui concerne la maîtrise des risques liés à l'exposition externe, l'IRSN relève qu'à ce stade du projet, l'Andra présente un certain nombre d'objectifs (notamment en termes de dosimétrie des travailleurs). L'Andra retient des principes de protection basés sur le triptyque écrans-distance-temps, à savoir :

- la mise en place d'écrans entre les substances radioactives et les personnes ;
- l'éloignement des personnes par rapport aux substances radioactives ;
- la limitation du temps d'exposition à ces mêmes substances radioactives.

L'Andra précise en outre [1] que « *l'efficacité des protections mises en place au regard du risque d'irradiation du personnel et du public [sera] contrôlée par la présence d'appareils de mesure du niveau d'irradiation qui seront positionnés à postes fixes pour mesurer l'ambiance radiologique dans toutes les zones de l'installation et plus particulièrement à proximité des zones sensibles* ». L'IRSN note que cet ensemble de dispositions s'applique ainsi également à la zone de travaux, ce qui est satisfaisant.

L'IRSN considère que ces principes sont cohérents avec les bonnes pratiques en usage dans les installations nucléaires, en matière de radioprotection.

---

<sup>7</sup> CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique

L'IRSN constate que, comme en 2005, l'Andra n'a pas défini les postes pour lesquels elle prévoit de réaliser une évaluation dosimétrique prévisionnelle. A ce stade du projet, l'Andra n'a en outre pas défini un dimensionnement des protections à mettre en place pour protéger les travailleurs à ces postes. L'Andra présente toutefois une méthode pour le pré-dimensionnement des protections radiologiques, basée sur des objectifs de Débits d'équivalent de Dose (DeD), que l'Andra précise obtenir à partir de la contrainte de dose annuelle qu'elle s'est fixée pour les travailleurs exposés, à savoir 5 mSv par an.

L'IRSN considère que la mise en œuvre de la démarche de radioprotection devra se fonder sur la définition de postes. A ces postes, l'IRSN estime que le pré-dimensionnement des protections radiologiques doit être obtenu à la suite d'une démarche d'optimisation et non uniquement à partir du respect d'une contrainte de dose que l'Andra s'est fixée à la conception. Il conviendra que la démarche d'optimisation et sa mise en œuvre aux différents postes soient présentées dans le dossier accompagnant la DAC.

Enfin, pour ce qui concerne le cas particulier de la zone de travaux, comme indiqué dans le paragraphe 4.2 du présent rapport, l'Andra a retenu une architecture générale du stockage séparant les zones nucléaires et de travaux. L'Andra a par ailleurs indiqué (cf. lettre DMR/DIR/10-009) que son objectif est de classer les travailleurs de la zone de travaux en tant que « *personnel travaillant hors zone nucléaire* » (« public », en zone non réglementée). A cet égard, l'IRSN relève que, pour ce qui concerne le personnel de la zone de travaux, l'Andra n'a fourni à ce stade ni de justification de sa non exposition aux rayonnements ionisants, ni d'évaluation dosimétrique, en lien avec le dimensionnement des « séparations » entre les zones nucléaire et de travaux.

E6

Par conséquent, l'IRSN considère que l'Andra devra justifier, dans le dossier accompagnant la DAC, que la zone de travaux peut être considérée comme une zone non réglementée, à partir des résultats des études de l'exposition du personnel de la zone de travaux aux postes de travail considérés comme dimensionnants.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

### 5.2.3 RISQUES LIES A L'EVOLUTION DES MATERIAUX

L'intégrité et le caractère fonctionnel des composants du stockage qui contribuent à satisfaire aux exigences de sûreté doivent être assurées pendant la durée de la phase d'exploitation, *a minima* séculaire [1], ce qui nécessite de considérer le vieillissement des matériaux de l'installation. L'IRSN examine ci-avant la prise en compte par l'Andra de divers phénomènes (pathologies du béton, corrosion des aciers...) influençant l'évolution des matériaux en béton et en acier durant l'exploitation du stockage.

#### *Vieillessement des installations*

S'agissant de la démarche de prise en compte du vieillissement du centre de stockage, l'Andra indique [1], d'une part, que le phénomène de vieillissement concerne l'ensemble des Structures, Systèmes et Composants (SSC) du stockage et d'autre part, que la maîtrise du vieillissement est assurée avant tout par le principe d'une bonne conception des différentes installations du centre de stockage. Ce principe repose, selon l'Andra, sur l'application de règles ou de normes applicables à la conception, à la construction et aux contrôles propres à chaque SSC du centre de stockage ; ces règles techniques de conception et ces référentiels prennent en compte les phénomènes de vieillissement des matériaux pour la période d'exploitation envisagée. A titre d'exemple, l'Andra cite l'Eurocode 2 (dimensionnement du revêtement en béton des installations souterraines), le Code de Construction des Appareils à Pression ou encore les règles préconisées par la Fédération Européenne de Manutention. L'Andra



s'appuie aussi sur les conclusions de l'atelier<sup>8</sup> « Cementitious Materials in Safety Cases for Geological Repositories for Radioactive Waste : Role, Evolution and Interaction ».

L'IRSN constate que, selon l'Andra, l'usage de codes et de normes appropriés ainsi qu'une éventuelle surveillance en service seraient suffisants pour s'affranchir de tout risque lié au vieillissement des installations. Or, l'IRSN relève que le Dossier 2009 d'une part ne se réfère pas aux référentiels AIEA relatifs à la maîtrise du vieillissement, que l'IRSN considère comme des textes de référence en la matière, et d'autre part ne présente pas une liste exhaustive des mécanismes de dégradation pris en compte à la conception ainsi que des éventuels plans de surveillance et de maintenance permettant d'identifier leur apparition et d'en maîtriser les effets en service. De plus, l'instruction n'a pas permis d'identifier les SSC pour lesquels la maîtrise du vieillissement doit faire l'objet d'une démonstration au regard des exigences de sûreté de ces SSC, en particulier pour ce qui concerne les éléments importants pour la sûreté (EIS).

Sur cette base, l'IRSN estime qu'il est nécessaire que l'Andra engage une démarche méthodologique identifiant de façon la plus exhaustive possible d'une part les mécanismes d'endommagement liés au vieillissement, d'autre part les composants qui devront faire l'objet d'une attention particulière (y compris les EIS). De même, l'IRSN considère nécessaire que cette démarche inclue notamment les équipements participants à la surveillance, ainsi que les structures et les matériels ne participant pas directement à une fonction de sûreté mais dont le vieillissement présenterait un risque d'agression de SSC participant à une fonction de sûreté. Cette identification doit résulter d'un inventaire des modes d'endommagement et des critères d'acceptabilité associés à ces dégradations. L'IRSN considère également que la démarche de l'Andra devra tenir compte des durées de vie projetées des SSC jouant un rôle dans le maintien de la sûreté de l'installation, en intégrant des possibilités de réparation et/ou de remplacement, qui restent à étudier. A cette fin, l'Andra doit pouvoir s'appuyer sur des essais technologiques. L'IRSN estime donc qu'un lien doit être établi entre l'étude des mécanismes de dégradation et les actions de développement technologique, de maintenance et de surveillance en service. En tout état de cause, l'IRSN estime qu'au vu du retour d'expérience de la prise en compte de la gestion et de la maîtrise du vieillissement dans les autres installations nucléaires de base (cf. Réexamen de sûreté des installations nucléaires de base du CEA : Lettre DGSNR/SD3/0112/2006 du 3 février 2006 demandant la mise en application de la note SD3-CEA-05 indice 0 du 2 décembre 2005), la méthode de l'Andra en la matière doit être formalisée.

E3.1

En conséquence, l'IRSN considère que l'Andra devra présenter, dans le dossier accompagnant la DAC, la méthode retenue pour prendre en compte le vieillissement des composants des installations souterraines et de liaison jour-fond.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

#### *Génie civil*

Le génie civil des installations souterraines et des installations de liaison jour-fond désigne, dans le présent rapport, l'ensemble des aménagements (soutènements et revêtements) en béton des ouvrages dédiés au transfert et au stockage des colis de déchets. Il convient de noter que la roche hôte est étroitement associée au génie civil : d'une part elle participe avec le génie civil à la stabilité des cavités, d'autre part ses performances de confinement dépendent de la conception et de la construction du génie civil. En effet, pendant les phases de construction initiale et d'exploitation, la roche hôte est (i) excavée, (ii) soutenue par un dispositif provisoire, et (iii) revêtue par un dispositif plus pérenne ; les méthodes et le calendrier de réalisation de ces trois étapes ont un impact sur l'endommagement de la roche, donc sur ses performances de confinement. Ce point particulier est examiné au paragraphe 6.2.1.2.2 du présent rapport.

<sup>8</sup> Sous l'égide de l'Agence pour l'Energie Nucléaire, Bruxelles, 17-20 novembre 2009

Comme dans le Dossier 2005, la fonction de sûreté [1] attribuée au génie civil par l'Andra pendant les phases de construction initiale et d'exploitation est la stabilité mécanique des cavités. Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

Les risques identifiés par l'Andra sont liés à l'instabilité mécanique des structures de génie civil (rupture, ou désordre de plus faible extension), ayant pour origine des sollicitations statiques (poids des terrains...), la dégradation dans le temps des matériaux de structure, ou un séisme, pendant la phase d'exploitation (cf. paragraphe 5.3.1).

Le Dossier 2009 ([8] [10] et le plan référencé C.PL.ASTE.09.0552.B transmis au cours de l'instruction) présentent des principes de soutènement et de revêtement et un pré-dimensionnement de ces structures. Pour les puits et la descenderie, le soutènement est défini en fonction des terrains traversés (exemple [21] : boulons d'ancrage et treillis métallique dans les marnes du Kimméridgien, viroles en acier dans les calcaires du Barrois) et le revêtement est constitué de 50 à 80 cm de béton. Pour les galeries de liaison (de travaux, de transfert des colis) et les galeries d'accès aux alvéoles, le soutènement est composé de boulons de 3 m de longueur et de béton projeté de 20 cm d'épaisseur, et le revêtement est constitué de 50 ou 60 cm de béton coulé en place. Toutefois, un revêtement plus souple, capable de s'adapter à la convergence des galeries, est en cours d'étude par l'Andra pour les galeries d'accès aux alvéoles HA ou CU3 (cf. paragraphe 6.2.1 du présent rapport). Pour les alvéoles MAVL (l'ouvrage de plus grand diamètre, de l'ordre d'une douzaine de mètres, est constitué par la cellule de manutention), le soutènement est composé de 20 cm de béton projeté de type B40, armé d'un treillis soudé, et de boulons courts scellés au mortier, et est mis en place dans les jours qui suivent l'excavation. Le revêtement, mis en place environ 6 mois après l'excavation, est en béton B60 faiblement armé d'épaisseur 40 à 50 cm. Compte tenu des ordres de grandeur des contraintes statiques, l'IRSN observe que les données quantitatives du pré-dimensionnement des structures en béton sont habituelles pour des structures à de telles profondeurs, bien que l'Andra ne présente pas, à ce stade du projet, de justification de ce pré-dimensionnement. L'IRSN relève que le dimensionnement du génie civil des installations souterraines sera présenté par l'Andra dans le dossier accompagnant la DAC, et devrait permettre de répondre à la demande de l'ASN, formulée à l'issue de l'instruction du Dossier 2005, concernant « *les dispositions de sûreté en exploitation, notamment le dimensionnement des soutènements* ».

L'IRSN note que, pendant la phase d'exploitation de l'installation, les structures sont soumises notamment aux forces gravitaires (incluant les pressions de la roche) et à des pressions d'eau. L'Andra a précisé pendant l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/2010-0079) que son évaluation des contraintes statiques auxquelles sont soumises les structures dans les installations souterraines était identique à celle présentée dans le référentiel du site ayant servi de donnée de base au Dossier 2005.

Par ailleurs, l'Andra considère (cf. lettre DMR/DIR/10-0079) une dégradation dans le temps des composants en béton dans le Dossier 2009, de la même manière que dans le Dossier 2005. L'Andra a confirmé pendant l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0079) prendre en compte l'ensemble des pathologies connues du béton à ce jour, ce qui est satisfaisant. Néanmoins, l'IRSN s'interroge sur l'évolution de certains bétons de soutènement/revêtement qui pourraient être soumis à des températures élevées pendant une durée séculaire (par exemple dans l'environnement des alvéoles HA, le chemisage pouvant constituer un vecteur privilégié de conduction thermique). En effet, l'influence de la température sur l'évolution des bétons est mal connue.

E3.2 | Aussi, l'IRSN considère que l'Andra devra tenir compte, dans le dossier accompagnant la DAC, de la température à laquelle seront soumis les bétons de soutènement/revêtement pendant une durée séculaire, dans son analyse des risques de dégradation de ces bétons.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

### *Composants métalliques*

Pour limiter la corrosion dans l'alvéole, l'Andra étudie des procédés industriels d'assemblage de tronçons du chemisage pour le rendre étanche à l'eau [3].

Les principaux composants métalliques retenus par l'Andra [2] dans la conception du stockage sont le surconteneur de colis de déchets HA et le chemisage des alvéoles de stockage de ces déchets (cf. paragraphes 4.1.2 et 4.1.3 du présent rapport). Comme dans le Dossier 2005, ces composants en aciers non alliés ont pour fonction respective d'empêcher l'arrivée d'eau sur les déchets vitrifiés (surconteneur) et de protéger les colis du risque de chargement mécanique (chemisage) pendant la phase thermique, c'est-à-dire pendant une durée millénaire. La tenue mécanique du surconteneur aux pressions hydrostatiques induites par la resaturation de l'alvéole doit également être assurée pendant la phase thermique. Enfin, le surconteneur et le chemisage doivent permettre [2] [8] la mise en alvéole des colis et préserver la possibilité de retrait sur une durée a minima séculaire.

L'IRSN rappelle qu'à l'issue de l'examen du Dossier 2005, le groupe permanent a recommandé (cf. lettre GPD/05-16 du 15 décembre 2005) que l'Andra précise « *le dimensionnement des composants métalliques du stockage (chemisage des alvéoles et (sur)conteneurs)* » dans le dossier accompagnant la DAC. En effet, l'IRSN estimait (cf. rapport DSU n° 106) qu'il existait des incertitudes significatives relatives aux vitesses de corrosion, du fait notamment du manque de connaissance des conditions d'environnement transitoires (état de saturation en eau, teneur en espèces oxydantes, nature du milieu au contact du métal) et de leur durée.

Dans le Dossier 2005, l'Andra mentionnait une durée d'étanchéité de 1 000 ans (qui correspond à la phase thermique), pour le surconteneur de déchets HA, à partir de laquelle une épaisseur de 55 mm avait été définie, en tenant compte d'hypothèses pénalisantes (selon l'Andra). L'IRSN note qu'au stade du Dossier 2009 cette épaisseur reste inchangée et que l'Andra n'a pas reconduit la durée d'étanchéité plus longue (4 000 ans) retenue à l'issue de son « analyse phénoménologique des situations de stockage » (APSS) de 2005 qui identifiait des conditions d'environnement plus favorables que les hypothèses conservatives initialement retenues. L'IRSN observe que cette APSS n'a pas été actualisée au stade du Dossier 2009.

Par ailleurs, l'IRSN constate que désormais l'exigence de tenue mécanique à la poussée du terrain est associée uniquement au chemisage, dont l'épaisseur est portée à 35 mm (contre 25 mm dans le dossier 2005) et que la résistance mécanique attribuée au surconteneur ne concerne plus que le chargement hydrostatique. L'Andra n'a néanmoins pas présenté, à ce stade, les modalités de prise en compte de l'exigence de tenue mécanique sur chaque composant (épaisseur associée à la résistance mécanique, prise en compte d'une éventuelle surépaisseur de corrosion).

Les autres éléments nouveaux apportés par l'Andra dans le Dossier 2009, en comparaison du Dossier 2005, concernent notamment les transitoires hydrique et oxydant à l'échelle d'un alvéole de stockage de déchets HA.

Pour ce qui concerne le transitoire hydrique durant la phase d'exploitation, l'Andra évoque [2] une durée d'étanchéité du chemisage de quelques dizaines d'années, afin que [3] « *les colis HA se trouvent dans des conditions d'environnement sèches, garantissant leur intégrité physico-chimique* ». L'IRSN note que cette estimation de la durée d'étanchéité du chemisage provient du retour d'expérience de tubages employés par l'industrie pétrolière. Toutefois, ce retour d'expérience n'est pas explicité dans le Dossier 2009 et mériterait d'être complété par d'autres éléments de retour d'expérience industriels, ainsi que par le retour d'expérience acquis au laboratoire souterrain de MHM. L'IRSN constate que l'Andra n'a pas attribué d'exigence de sûreté spécifique au chemisage de l'alvéole HA vis-à-vis de son étanchéité et que les modalités de mise en œuvre du chemisage ne sont pas connues au stade du Dossier 2009. En outre, l'IRSN observe que la durée d'étanchéité du chemisage de quelques dizaines d'années mentionnée par l'Andra est inférieure à la durée d'ordre séculaire envisagée pour la phase d'exploitation. Or, en cas de non étanchéité du chemisage, des conditions de saturation

partielle en eau pourraient prévaloir au sein de l'alvéole. En cas de renouvellement d'oxygène (cf. ci-avant), ces conditions rendraient non négligeables les risques de corrosion localisée du chemisage et des surconteneurs.

Aussi, à ce stade du projet et comme en 2005, l'IRSN considère qu'une perte d'étanchéité du chemisage de l'alvéole HA pendant la phase d'exploitation du stockage ne peut être exclue.

E3.3 | L'IRSN considère que l'Andra devra préciser, dans le dossier accompagnant la DAC, si l'étanchéité du chemisage de l'alvéole HA est retenue en tant qu'exigence de sûreté, la durée associée à cette exigence, ainsi que la solution technique retenue.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

Pour ce qui concerne les risques liés au transitoire oxydant durant la phase d'exploitation, l'Andra indique (cf. lettre DMR-DIR/10-0083), sur la base d'une simulation, « *que l'oxygène provenant de la galerie et transitant via la zone endommagée de l'argilite devrait être consommé par la corrosion de l'insert de tête d'alvéole* » et qu'au delà de quelques mètres de la galerie d'accès, les conditions d'oxydoréduction à l'extrados du chemisage seront anoxiques. L'Andra précise [3] que la tête d'alvéole, en raison de l'influence de la galerie d'accès ventilée, « *pourrait se trouver dans un environnement partiellement saturé avec la présence simultanée d'eau et d'oxygène* ». L'IRSN convient que la simulation numérique est un outil intéressant pour accéder aux échelles de temps considérées mais souligne l'importance d'y associer autant que possible des expérimentations et des essais. A titre d'exemple, l'IRSN indique qu'une expérimentation menée à Tournemire [Gaudin, 2009 ; Marsal, 2010], mettant en jeu des disques d'aciers placés au sein de l'argilite du Toarcien pendant une durée de 6 ans, a mis en évidence que la simulation classique (répartition homogène des couples minéralogiques oxydo-réducteurs, absence de vide résiduel aux interfaces...) de la consommation d'oxygène ne permettait pas de reproduire les observations faites de corrosion oxydante sur les échantillons. Aussi, et comme en 2005, l'IRSN estime qu'une présence simultanée de conditions humides (saturation partielle) et oxydantes, susceptibles de conduire à des vitesses de corrosion d'ordre millimétrique, ne peut être exclue en l'état actuel des connaissances, y compris dans la partie utile de l'alvéole.

Plus généralement, l'IRSN rappelle (cf. rapport DSU n° 106) que si le référentiel de connaissances relatives aux matériaux métalliques établi par l'Andra en 2005 constitue un socle scientifique solide, il ne permet pas en tant que tel de passer du stade des études à une réalisation industrielle, qui doit être basée sur des codes et normes ainsi que des savoir-faire souvent non formalisés (REX d'exploitations industrielles...). A titre d'exemple, l'IRSN rappelle (cf. rapport DSU n° 106) que, bien que les nuances d'acier étudiées par l'Andra contribuent à minimiser le risque de fragilisation par l'hydrogène, le seul choix de l'acier sans qualification de l'ensemble matériau/procédé ne peut garantir l'absence de ce type de risques dans les zones de soudage non détensionnées. A cet égard, l'Andra a indiqué au cours de l'instruction (cf. lettre DMR-DIR/10-0084) qu'elle menait des recherches en vue de s'affranchir de phénomènes tels que la corrosion sous contrainte et la fragilisation par l'hydrogène des composants en acier.

En outre, l'IRSN estime, comme en 2005 (cf. rapport DSU n°106), qu'il est nécessaire d'instrumenter les alvéoles de stockage en vue de vérifier leur comportement. A cet égard, l'Andra indique [2] que « *des moyens de prélèvement de l'atmosphère interne de l'alvéole sont étudiés pour observer son évolution dans le temps* ». Le dispositif d'auscultation envisagé par l'Andra consiste en deux lignes de prélèvement qui traversent le bouchon métallique et sont connectées à une console placée hors de l'alvéole. Des capteurs de température et d'hygrométrie, ainsi que des connecteurs électriques associés, pourraient également être implantés dans le bouchon métallique [8]. L'IRSN note que l'Andra prend bien en compte le besoin d'un système d'auscultation des alvéoles HA dans son programme de développements technologiques.

Enfin, l'IRSN mentionne que l'Andra prévoit (cf. lettre DMR-DIR/10-0084 et [6]) un programme d'expérimentations en laboratoire souterrain visant à réduire, en vue de la DAC, les incertitudes concernant la durée du transitoire oxydant et l'évolution physico-chimique de matériaux métalliques en conditions in situ (expérimentations POX et MCO). Pour ce qui concerne les essais sur alvéole HA, l'Andra estime que « *les observations [qui] seront réalisées à l'intérieur des chemisages d'alvéoles HA testées dans le Laboratoire souterrain [...] ne pourront être que qualitatives* ». L'IRSN considère que ces expérimentations et essais in situ sont nécessaires mais doivent être complétés afin de mieux cerner l'influence de l'évolution des conditions d'environnement sur le comportement des aciers non alliés, en vue notamment d'établir la démonstration d'une mise en place et d'un retrait aisés des colis.

En conclusion, tout comme en 2005, si les ordres de grandeur des épaisseurs retenues pour le surconteneur et le chemisage d'alvéole de stockage de déchets HA ne sont pas remis en cause, l'IRSN estime toutefois qu'il conviendra de vérifier, sur la base de nouvelles investigations, la pertinence des épaisseurs actuellement retenues. En effet, l'IRSN estime que les données rassemblées à ce jour ne permettent pas de garantir que les fonctions liées à la réversibilité (notamment le retrait des colis) puissent être assurées pendant une durée séculaire. En conséquence, l'IRSN considère que la demande de précision du groupe permanent relative au dimensionnement des composants métalliques du stockage (chemisage des alvéoles et surconteneurs) reste d'actualité.

#### 5.2.4 RISQUES DE CRITICITE

Les risques liés à la criticité proviennent de la présence de matière fissile dans certains colis de déchets. L'Andra indique [24] [1] qu'au stade de 2009, l'analyse du risque de criticité est à un état préliminaire et que la démonstration de la maîtrise de ce risque sera réalisée pour la DAC. A cet égard, à l'issue de l'examen du Dossier 2005, le GPD recommandait pour cette échéance de « *poursuivre les études de sûreté criticité en visant à établir les critères d'admissibilité des colis* ».

Ainsi, au stade du Dossier 2009, l'Andra a identifié certains colis à risque : les colis B5 (CSD-C de déchets MAVL), les colis CSD-V de déchets vitrifiés de haute activité et les colis CU3 de combustibles usés de type UNGG, ou issus de la recherche ou des activités de défense. Comme indiqué dans le chapitre 2 du présent rapport, le modèle d'inventaire retenu dans le Dossier 2009 ne fait plus apparaître de combustibles usés issus de la filière électronucléaire de type REL dans les scénarios de stockage. L'IRSN considère que cet abandon entraîne une évolution notable de l'évaluation du risque de criticité. Lors de l'examen du Dossier 2005, la majorité des remarques soulevées par l'IRSN portaient sur la maîtrise des risques liés aux matières fissiles contenues dans les colis CU1 et CU2 : celles-ci ne sont donc plus d'actualité. Toutefois, l'IRSN estime que, dans la perspective d'une évolution future du MID prenant en compte ce type de colis, des incertitudes majeures resteraient à lever (cf. rapport DSU n°106).

L'Andra indique [1] que sa démonstration de la maîtrise des risques liés à la criticité en fonctionnement normal et incidentel prend en compte les principes de la règle fondamentale de sûreté I.3.c, en retenant notamment une approche déterministe. Pour ce qui concerne le mode de contrôle de la criticité, l'Andra indique [1] que la fonction de sûreté « rester sous-critique », est décomposée en deux sous-fonctions :

- contrôler la masse de matière fissile ;
- contrôler l'environnement de la matière fissile (contrôler l'évolution des géométries des colis de stockage et de l'environnement)

L'IRSN considère comme en 2005 que l'ensemble de cette démarche est acceptable du point de vue de la sûreté.

Dans son analyse préliminaire, l'Andra retient les critères d'admissibilité suivants [1] identiques à ceux présentés dans le Dossier 2005, tout en ne faisant plus référence à des notions probabilistes. Il convient de noter que ces critères d'admissibilité pourront être diminués d'un biais de qualification que l'Andra prendra en compte dans ses études de criticité [24]. Ces biais de qualification pourront notamment s'appuyer sur les résultats du programme expérimental Matériaux en Interaction et Réflexion Toutes Epaisseurs (MIRTE - cf. paragraphe 6.1.1 du présent rapport).

	Situation normale	Situations incidentelles
Phase d'exploitation et de réversibilité	$K_{\text{eff}} + 3 \sigma \leq 0,95$	$K_{\text{eff}} + 3 \sigma \leq 0,97$
Phase après fermeture	$K_{\text{eff}} + 3 \sigma < 1$	

Tableau 5. Critères d'admissibilité définis par l'Andra pour les différentes situations

Pour ce qui concerne la limite de masse de matières fissiles admissible déterminée sur la base de ces critères, l'Andra indique [24] que celle-ci est de 450 g dans le Dossier 2009, à la suite d'une réactualisation des études relatives au colis B5.4. L'IRSN note que malgré la diminution de cette limite (550 g dans le Dossier 2005), une marge existe toujours par rapport à celle prescrite par Areva NC pour les entreposages des déchets à La Hague (430 g), et considère que la nouvelle valeur reste donc cohérente avec celles retenues sur les sites des principaux producteurs de déchets.

Pour ce qui concerne spécifiquement les colis CU3, l'Andra présente [24] les résultats des calculs de criticité pour les colis CU3.1.1 ( $K_{\text{eff}} + 3 \sigma = 0,63$ ) et CU3.1.2 ( $K_{\text{eff}} + 3 \sigma = 0,74$ ). Elle conclut de ces valeurs que la sûreté-criticité du stockage est acquise pour ces deux types de colis. L'IRSN note néanmoins que la valeur du  $K_{\text{eff}}$  n'a pas encore été calculée pour les colis CU3.1.3, CU3.1.4 et CU3.4. Or, l'enrichissement des matières fissiles contenues dans ces colis est notablement supérieur à celui des CU3.1.1 et CU3.1.2, en particulier pour ce qui concerne le colis CU3.4 de déchets issus de la propulsion nucléaire et les colis CU3.1.4 de déchets issus des combustibles expérimentaux.

Ainsi, l'IRSN constate qu'au stade du Dossier 2009, la maîtrise de la sous-criticité du stockage pendant sa phase d'exploitation n'est pas encore démontrée pour tous les colis CU3 et qu'en fonction des résultats des calculs que l'Andra prévoit pour les colis CU3.1.3, CU3.1.4 et CU3.4, l'Andra pourrait être amenée à modifier la conception des colis de stockage. Toutefois, étant donné le nombre limité de colis CU3 ainsi que leur emplacement dans une zone de stockage dédiée (zone C0-CU3, cf. paragraphe 4.1.2), l'IRSN considère que ces éventuelles modifications (taille des alvéoles de stockage, architecture de cette zone) ne remettraient pas en cause la capacité du stockage à accueillir ces colis de déchets.

Par ailleurs, l'Andra indique [24] que des dispositions constructives et d'exploitation sont associées à la mise en œuvre des sous-fonctions de sûreté précitées (conception des colis de stockage pour garantir un espacement minimal incompressible entre colis primaires, piles de colis de stockage MAVL stables en cas de séisme). L'Andra a ajouté, au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0078) qu'elle envisageait « *des procédures organisationnelles additionnelles qui iront dans le sens d'une augmentation de la maîtrise du risque de la criticité en dégagant des marges supplémentaires. Il pourrait s'agir :*

- *d'une procédure de chargement des colis permettant de garantir un mélange maîtrisé au niveau du colis de stockage (un colis primaire contenant beaucoup de matière fissile avec d'autres en contenant peu),*
- *d'une procédure qui consisterait à gérer la mise en place des colis de stockage dans l'alvéole afin de répartir la matière fissile de la manière la plus homogène possible ».*

L'IRSN considère que tant qu'il s'agit de procédures additionnelles, ces procédures organisationnelles n'appellent pas de remarque.

En conclusion, l'IRSN considère que la démarche de sûreté relative à la maîtrise des risques liés à la criticité, ainsi que les exigences de sûreté, que l'Andra retient au stade du Dossier 2009 pour la phase d'exploitation du stockage sont convenables, et que l'Andra devrait être en mesure de démontrer la maîtrise des risques liés à la criticité à l'échéance du dossier de DAC.

## 5.2.5 RISQUES LIÉS A L'INCENDIE ET A L'EXPLOSION

### 5.2.5.1 Risques liés à l'incendie

#### *Démarche d'analyse des risques liés à l'incendie*

L'Andra considère qu'un incendie pourrait entraîner la perte de confinement des colis de déchets radioactifs, l'exposition des personnes à des rayonnements ionisants, ainsi que la perte d'éléments importants pour la mise et le maintien à l'état sûr de l'installation. A cet égard, les sources de combustible et d'ignition sont multiples dans l'installation de stockage de déchets (engins de transfert, de manutention, locaux techniques...). Pour mémoire, le Dossier 2005 de l'Andra faisait déjà état [14] du « caractère dimensionnant » des risques liés à l'incendie.

Afin de mettre en œuvre sa démarche d'analyse des risques liés à l'incendie, l'Andra présente [1] les principaux textes sur lesquels elle se fonde :

- l'arrêté du 31/12/99, modifié par l'arrêté du 31/01/2006, fixant la réglementation technique générale destinée à prévenir et limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des installations nucléaires de base ;
- le guide ASN associé ;
- la RFS I.4a.

L'IRSN constate que les référentiels utilisés par l'Andra pour son analyse des risques liés à l'incendie concernent principalement les INB de surface. L'Andra a indiqué au cours de l'instruction que d'autres textes existants pourraient être applicables à une installation telle que le stockage géologique :

- la norme NF ISO 17873 (cf. paragraphe 5.2.1 du présent rapport, relatif à la ventilation) ;
- la circulaire n° 2006-20 du 29 mars 2006 relative à la sécurité dans les tunnels routiers ;
- la circulaire interministérielle n° 2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national.

En outre, l'IRSN rappelle que la conformité d'une l'installation à l'arrêté du 31/12/1999, modifié par l'arrêté du 31/01/2006, n'est pas toujours suffisante pour démontrer sa sûreté en cas d'incendie. En effet, cet arrêté vise à prévenir et limiter les nuisances et les risques pouvant avoir des conséquences à l'extérieur du périmètre de l'INB. Or, la démarche de sûreté nucléaire vise également à traiter les risques pouvant avoir des conséquences à l'intérieur de l'INB.

E7.1 Par conséquent, l'IRSN considère que l'Andra devra présenter, dans le dossier accompagnant la DAC, sa démarche d'analyse des risques liés à l'incendie, en considérant d'une part les exigences de sûreté applicables aux INB de surface, d'autre part celles applicables aux ouvrages souterrains (mines, tunnels). Le référentiel ainsi formé devra porter sur la prévention et la limitation des risques liés à l'incendie, pouvant avoir des conséquences à l'intérieur et à l'extérieur de l'installation nucléaire souterraine.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

L'Andra indique [1] avoir réalisé une analyse des risques d'incendie dans les zones « nucléaires » de l'installation, et précise [1], [14] que les risques associés à la zone de travaux et à la zone centrale de soutien seront étudiés

ultérieurement. L'IRSN considère que les risques associés à la zone de travaux doivent être nécessairement pris en compte dans le cadre de l'analyse des risques liés à l'incendie dans la zone nucléaire, du fait de la co-activité (cf. paragraphe 5.2.8 du présent rapport).

Le Dossier 2005 présentait une démarche de prise en compte des risques liés à l'incendie basée sur (i) la définition des options de prévention et de limitation des conséquences des incendies, (ii) la caractérisation des incendies de référence, (iii) la détermination des débits de désenfumage, (iv) l'étude de scénarios d'incendie, et (v) l'étude de l'impact des incendies de référence sur les colis de déchets. Dans le Dossier 2009, l'Andra retient une démarche différente. En effet, l'Andra indique [1], [14] avoir évalué les risques d'incendie pour différentes « situations » d'exploitation impliquant le transfert et la mise en alvéole des colis. Pour chacune d'elles, l'Andra considère les principales cibles à protéger et la « *sensibilité au départ de feu* ». L'Andra évalue ensuite de façon simplifiée les conséquences radiologiques. Pour chaque configuration analysée, l'Andra propose des dispositions techniques et organisationnelles pour la maîtrise des risques d'incendie. Enfin, sur la base du croisement du niveau de conséquences radiologiques avec le niveau de « *sensibilité au départ de feu* » de chaque configuration, l'Andra identifie celles qui nécessitent une analyse détaillée des options de protection contre l'incendie pour des scénarios enveloppes.

L'IRSN relève de cette démarche (i) que les locaux sont classés en fonction des conséquences radiologiques et (ii) qu'une démonstration de la suffisance des dispositions retenues est réalisée en fonction de ce classement, c'est-à-dire lorsque des seuils d'impact de référence sont dépassés, et uniquement sur les cibles « colis ». Toutefois, l'Andra a précisé lors de la réunion préparatoire que sa démarche de prise en compte des risques liés à l'incendie n'est pas conditionnée par l'impact radiologique. Ensuite, l'IRSN relève également (iii) que l'Andra ne prévoit pas la justification systématique de la capacité des dispositions de protection contre l'incendie (DPCI) retenues à prévenir la dégradation de l'ensemble des « cibles de sûreté », à savoir toutes les cibles dont une agression entraînerait une dégradation du niveau de sûreté de l'installation (pour ce qui concerne les cibles à protéger des effets d'un incendie, l'Andra indique [14] qu' « *à ce stade du projet, il est difficile de statuer sur la présence d'équipements nécessaires à la mise et au maintien à l'état sûr dans les différentes zones et sur l'identification précise de ces équipements. C'est pourquoi il a été décidé de ne pas les considérer dans les zones étudiées, les futures études devant les prendre en compte ultérieurement pour la demande d'autorisation de création* »).

E7.2 | A cet égard, l'IRSN considère que l'Andra devra justifier la capacité des dispositions de protection contre l'incendie (DPCI) à prévenir et à limiter les conséquences des incidents ou accidents liés à l'incendie, pour toutes les « cibles de sûreté » (colis, composants dont une agression entraînerait une diminution du niveau de sûreté de l'installation...).

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

L'Andra ajoute [14] qu' « *un plan d'actions va être mis en œuvre pour les études détaillées de 2010-2012 afin de réduire les incertitudes sur les résultats des simulations thermiques au travers d'une meilleure connaissance des situations d'incendie* » et donc de leurs effets. En particulier, l'Andra indique [14] que « *comme les seules sources d'allumage et la majorité de la charge calorifique [que] contiennent [les alvéoles MAVL] proviennent des équipements de mise en stockage des colis, eux-mêmes équipés de détection et d'extinction automatiques, une détection automatique dans les alvéoles pourrait ne pas être envisagée* ». L'IRSN rappelle enfin que l'Andra s'est engagée à identifier les critères de sélection des scénarios qui seront retenus pour le dimensionnement de l'installation (cf. chapitre 3 du présent rapport) : à titre d'exemple, pour le scénario d'incendie « hors dimensionnement » retenu (incendie se propageant à un deuxième colis de stockage ou à une deuxième pile de colis avant d'être maîtrisé grâce aux moyens d'intervention mis en place), l'Andra précise [14] que des dispositions complémentaires, associées à un terme source plus important pouvant conduire à une situation



inacceptable, seront définies (étanchéité du confinement statique, secteur de confinement...). L'IRSN relève d'une part que le caractère pénalisant des aggravants considérés dans ce scénario, par rapport au scénario « de dimensionnement » relatif à l'incendie de l'engin de transfert impliquant la hotte et son colis de stockage, incendie de l'engin de mise en alvéole des colis (cf. paragraphes 4.1.2 et 4.2 du présent rapport pour une description de ces composants), n'a pas été justifié par l'Andra et d'autre part, que ce scénario ne met pas en évidence de défaillance particulière des dispositions de détection, lutte et intervention en cas d'incendie.

E7.3

Par conséquent, l'IRSN considère que l'Andra devra justifier, dans le dossier accompagnant la DAC, le caractère enveloppe des effets des incendies qui seront retenus pour le dimensionnement des dispositions de protection contre l'incendie.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

De plus, l'IRSN rappelle que les simulations de développement d'incendie dans une telle installation nécessitent l'usage de codes de calculs spécifiques adaptés à la géométrie des ouvrages (galeries de grande longueur, espaces confinés...). En conséquence, l'IRSN attire l'attention sur le fait que l'Andra devra adapter ses outils de simulation numérique pour prendre en compte le caractère spécifique des locaux du centre de stockage.

#### *Options de sûreté relatives à la maîtrise des risques liés à l'incendie*

##### a. Dispositions de protection et de maintien de l'installation à l'état sûr

L'Andra indique [14] que les personnels d'exploitation n'ont pas de rôle dévolu en cas d'incendie pour le maintien de l'installation à l'état sûr ; la disposition principale retenue est donc l'évacuation. Les modalités précises de cette évacuation ne sont pas définies à ce stade mais des grands principes ont été énoncés (possibilité d'utiliser toutes les galeries d'accès en cas d'incendie, indépendamment des zones de travail et de la catégorie du personnel, points de regroupement, refuges...). Ce point n'a pas fait l'objet d'évolutions depuis le Dossier 2005.

Pour ce qui concerne la stabilité au feu des structures (revêtement de galeries, cloisons...), l'Andra précise [14] que celle-ci est « *au minimum de 2 heures et ne peut être inférieure au degré adopté pour la résistance au feu des secteurs de feu* ». L'IRSN constate qu'à ce stade du projet, l'Andra n'a pas apporté la justification de ce niveau de résistance, notamment au regard d'incendies enveloppes et des exigences pour la mise et le maintien à l'état sûr de l'installation. Aussi, l'IRSN attire l'attention sur la nécessité d'inclure dans le dossier accompagnant la DAC la démonstration de la résistance au feu des structures de l'installation, au regard des exigences de sûreté et des situations enveloppes retenues.

Pour ce qui concerne la protection des colis, l'IRSN rappelle que l'Andra identifie l'ensemble des colis comme cibles (comme dans le Dossier 2005). L'IRSN observe les quatre points suivants :

1. au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0077), l'Andra a indiqué qu' « *au stade actuel, les études des conséquences d'un incendie lors du transfert d'un colis prennent en considération la présence de la hotte. Une exigence de protection du colis de déchets en cas d'incendie est donc affectée aux différentes hottes de transfert* » ;
2. le document [1] indique qu'aucune fonction de protection contre un incendie n'est affectée aux colis de stockage ;
3. l'Andra considère [14] que la matière contenue dans les colis MAVL est dispersable en cas d'incendie, non dispersable pour les colis HA, mais « *ces hypothèses sur le caractère mobilisable et dispersable du terme source radioactif soumis à un incendie seront confirmées au travers des résultats des simulations thermomécaniques et d'essais qui seront réalisés ultérieurement* ». L'IRSN considère que la prise en

compte des résultats de ces études dans le futur dimensionnement des protections des colis contre l'incendie est satisfaisante ;

4. pour ce qui concerne les déchets MAVL, l'Andra vise [14] à ne pas dépasser un seuil de 120°C à la surface des colis primaires de boues bitumées afin d'éviter une réaction exothermique. L'IRSN constate que pour ces mêmes colis, (i) un autre exploitant nucléaire utilise le critère de 100°C, valeur considérée comme pénalisante, (ii) la justification de l'absence d'autres phénomènes tels que le relâchement de gaz explosibles ou de matières radioactives à des températures inférieures n'a pas été apportée par l'Andra. L'IRSN rappelle que ce critère de 120°C était fortement remis en cause à l'issue de l'instruction du Dossier 2005 et observe que ce critère n'est toujours pas justifié.

L'IRSN estime donc que la recommandation du groupe permanent formulée en 2005, relative aux dispositions permettant de prévenir toute reprise de réaction exothermique des colis de boues bitumées, reste d'actualité. L'IRSN ajoute qu'il conviendra d'évaluer d'autres conséquences liées à l'augmentation de la température des colis de boues bitumées que la reprise de réactions exothermiques (relâchement de gaz, dissémination de matières radioactives...).

En matière de prévention des risques liés à l'incendie, l'Andra vise [14] à limiter l'utilisation de matériaux combustibles et leur inflammabilité (exemple : classements M et câbles C1), à utiliser des équipements résistants au feu (exemples : câbles, gaines de ventilation), et à limiter les sources d'allumage des engins en privilégiant autant que possible des véhicules électriques dans la zone nucléaire, des fluides non combustibles, et des moyens de transfert sur rails (exemples : funiculaire en descenderie, navettes d'accostage en alvéole MAVL et HA (cf. lettre DMR/DIR/10-0077)).

L'IRSN constate que ces principes de prévention sont plus détaillés que dans le Dossier 2005 et considère qu'ils sont globalement satisfaisants.

#### b. Détection/Surveillance

L'Andra prévoit [14] une détection incendie adressable dans toutes les galeries de transfert et d'accès, afin de déclencher l'évacuation, l'intervention et le pilotage du désenfumage. Des systèmes de détection et d'extinction automatique embarqués sont prévus [1], [14] sur les engins. Les alarmes de ces détecteurs fixes et embarqués sont reportées en salle de conduite.

L'IRSN souligne que ces principes retenus en matière de détection n'ont pas fait l'objet d'évolution majeure depuis le Dossier 2005 et considère qu'ils sont globalement satisfaisants.

Néanmoins, l'IRSN rappelle (cf. ci-après, présentation de la démarche de l'Andra) que l'Andra indique [14] qu'« une détection automatique dans les alvéoles pourrait ne pas être envisagée » et note que l'Andra ne précise pas les éventuelles dispositions de détection dans la zone de travaux. Or l'IRSN estime que la détection incendie dans cette zone est de première importance au regard des conséquences potentielles d'un incendie sur l'exploitation dans la zone nucléaire, et présente une difficulté particulière en raison des conditions d'environnement des zones de chantier (température, poussières, évolution des périmètres des chantiers...).

E7.2

En conséquence, l'IRSN considère que l'Andra devra préciser les dispositions de détection des départs de feu dans la zone de travaux et justifier le cas échéant l'absence de telles dispositions dans les alvéoles MAVL.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

### c. Sectorisation

L'IRSN note que certains locaux abritent des activités présentant un danger d'incendie majoré (exemple : stockages de gazole et d'huile, ateliers et magasins, locaux électriques...). A ce stade, les principes généraux de sectorisation de ces zones, présentant les dangers d'incendie les plus importants ou à maintenir à l'abri des effets d'un incendie, ne sont pas définis.

Néanmoins, l'Andra a présenté pendant l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0077) les principes d'une sectorisation incendie pour les alvéoles MAVL et les locaux électriques. Pour ces derniers, les principes retenus n'appellent pas de commentaire de la part de l'IRSN. Pour ce qui concerne les alvéoles MAVL, l'Andra indique que le secteur de feu est constitué de la partie utile de l'alvéole et de la cellule de manutention adjacente. L'IRSN relève que l'Andra n'a pas prévu de pouvoir isoler la cellule de la partie utile de l'alvéole, notamment en cas d'incendie au niveau du lieu de charge des batteries de l'engin de manutention en alvéole. Sur le plan des principes, l'IRSN considère que ceci n'est pas satisfaisant car il n'est pas prévu de dispositions de sectorisation incendie entre une source potentielle d'incendie (la cellule) et des cibles de sûreté (les colis stockés). Par ailleurs, l'IRSN souligne que la zone centrale de soutien et les installations de liaison jour-fond présentent également un enjeu de sûreté important, en raison notamment du caractère vital de la disponibilité de voies d'évacuation en leur sein.

E7.4

Par conséquent, l'IRSN considère que l'Andra devra préciser, dans le dossier accompagnant la DAC, les principes de sectorisation et les exigences associées pour les locaux présentant les dangers d'incendie les plus importants ou à maintenir à l'abri des effets d'un incendie, notamment dans la zone centrale de soutien et les installations de liaison jour-fond, et présenter les dispositions permettant d'éviter la propagation d'un incendie entre la cellule de manutention et la partie utile de l'alvéole MAVL associée.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

### d. Lutte contre l'incendie

Pour ce qui concerne la lutte contre l'incendie, l'Andra prévoit [14] des extincteurs dans les zones occupées par du personnel, des dispositifs d'extinction automatiques embarqués sur les engins, notamment sur ceux employés dans les alvéoles MAVL, et des moyens d'extinction fixes automatiques en cellule de manutention des alvéoles MAVL. La compatibilité des espaces de circulation avec les véhicules d'intervention est prévue [9], ainsi que le stationnement de ces véhicules en zone centrale de soutien.

Les moyens de lutte contre l'incendie retenus par l'Andra reposent également sur des équipes de première et de deuxième intervention. Cette organisation n'appelle pas de remarque à ce stade.

Néanmoins, l'Andra n'a pas justifié l'aptitude des moyens humains de lutte à intervenir dans des conditions d'ambiance particulièrement difficiles (fumées, difficultés d'approche du foyer, effet de four des galeries, etc.). Or, le REX de l'exploitation des ouvrages de génie civil souterrains tend en première analyse à montrer qu'à ce jour, les incendies en milieu souterrain peuvent ne pas être éteints rapidement malgré le déploiement de moyens humains d'intervention (exemples : incendie du tunnel du Mont-Blanc, second incendie du tunnel sous la Manche...), et que les équipes d'intervention privilégient souvent l'évacuation et l'attente de la baisse d'intensité du feu, lorsque la majorité de la charge calorifique a été consommée.

De plus, l'IRSN considère que, dans le cas particulier de la partie utile de l'alvéole MAVL, l'intervention humaine n'est pas envisageable en raison de l'ambiance radiologique. Or, l'Andra n'a pas présenté de moyens de lutte contre un incendie en alvéole complémentaire au système embarqué d'extinction d'un incendie de l'engin de mise

en alvéole, en cas de défaillance dudit système. Il convient de rappeler que le groupe permanent avait notamment demandé en 2005 de prendre en compte un incendie d'un engin de manutention à l'intérieur d'un alvéole MAVL.

En outre, au-delà de la prise en compte de la défaillance du système d'extinction embarqué, l'IRSN considère que l'exclusion d'un scénario d'incendie en alvéole MAVL devrait être justifiée : par exemple, une étude de la stabilité thermique des colis stockés au sein de leur alvéole pourrait permettre d'écarter le risque d'initiation d'une réaction exothermique spontanée à l'intérieur des colis, notamment de boues bitumées, dans les situations de fonctionnement normal et incidentel du stockage (arrêt de la ventilation, propagation d'énergie thermique depuis l'extérieur des alvéoles, etc.). L'IRSN rappelle enfin que l'inventaire physique des colis de boues bitumées est important (près d'un tiers des colis primaires destinés au stockage, dans le scénario de dimensionnement) et attire l'attention sur l'enjeu de sûreté lié à un incendie impliquant ces colis.

R2

Par conséquent, l'IRSN recommande que l'Andra complète l'analyse des risques liés à l'incendie en présentant les dispositions complémentaires visant à éteindre un feu dans les zones où les conditions d'ambiance possibles ne permettraient pas l'intervention humaine, notamment dans la partie utile des alvéoles MAVL en cas de défaillance du système d'extinction embarqué sur l'engin de mise en alvéole.

En tout état de cause, il conviendra de justifier l'exclusion d'un scénario d'incendie de reprise de réactions exothermiques à l'intérieur de colis, notamment de boues bitumées, dans les situations de fonctionnement normal et incidentel du stockage.

#### e. Conduite de la ventilation en cas d'incendie

Pour ce qui concerne la ventilation en cas d'incendie, l'Andra présente [9] les principes généraux de ventilation et les différents composants séparant la zone nucléaire et la zone de travaux (portes, sas, barrages de ventilation). L'Andra précise [14] que dans le cas général, « *les séparations seront dimensionnées pour qu'un incendie dans la zone de travaux ne se propage pas vers la zone en exploitation nucléaire* » et [1] que « *la ventilation n'est pas mobilisée par des opérations d'inversion de la ventilation* ». Toutefois, il convient de rappeler que l'Andra n'a pas précisé à ce stade les exigences de résistance au feu des ouvrages séparatifs.

En outre, l'Andra opte dans le Dossier 2009 pour une solution de désenfumage longitudinal des galeries, déjà évoquée dans le Dossier 2005 pour certains types de galeries. D'après la lettre DMR/DIR/10-0077, le désenfumage « *est conçu pour pousser les fumées vers des trappes d'extraction implantées sur le circuit de retour d'air* », dont l'espacement est au plus de l'ordre d'un kilomètre. Toutefois, l'IRSN relève que les principes de désenfumage ne sont pas définis à ce stade pour toutes les zones de l'installation de stockage (zone centrale de soutien, liaisons jour-fond...).

E21

Ainsi, l'IRSN considère que l'Andra devra présenter, dans le dossier accompagnant la DAC, l'ensemble des principes de désenfumage retenus, ainsi qu'une justification de l'efficacité du concept de désenfumage retenu. L'Andra devra justifier l'adéquation des systèmes de désenfumage aux objectifs liés à l'évacuation du personnel, à la protection des équipes d'intervention, et à la protection des « cibles de sûreté » pour l'ensemble des zones du stockage.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

Par ailleurs, l'IRSN rappelle que la recommandation R1 (cf. paragraphe 5.2.1 du présent rapport) inclut le cas de l'alvéole MAVL et vise à justifier, à travers des dispositions de confinement dynamique, l'absence de dispersion de matière radioactive, en l'occurrence hors de cet alvéole, en cas d'événement initiateur tel qu'un incendie.

## 5.2.5.2 Risques liés à l'explosion

### *Démarche d'analyse des risques liés à l'explosion*

L'Andra indique [1] que les sources potentielles d'explosion sont liées au dégagement de gaz de radiolyse par certains colis MAVL et au dégagement d'hydrogène lors de la charge de batteries dans l'installation, et précise que le risque d'explosion « *peut avoir d'autres origines qui seront identifiées et traitées ultérieurement au stade de la DAC* ». Il convient de rappeler que l'Andra présentait dans le Dossier 2005 une analyse des risques liés à l'explosion ne prenant en compte que les risques liés à la présence de gaz de radiolyse.

Les conséquences potentielles d'une explosion sont une dégradation voire la perte de composants de l'installation importants pour la sûreté (incluant les barrières de confinement de la matière radioactive) et l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants.

L'Andra a réalisé une analyse préliminaire des risques d'explosion [23]. Elle retient une démarche « ATEX » basée sur la méthode présentée dans le Code du travail, qui comprend plusieurs étapes :

1. le recensement des sources de dégagement de gaz (permanentes, fréquentes ou exceptionnelles) pendant toutes les phases de vie du stockage,
2. la détermination de la probabilité  $P_{\text{atex}}$  de présence d'une atmosphère explosible dans les différentes zones du stockage<sup>9</sup> (classement des zones ou zonage « ATEX »),
3. la définition de moyens de réduction des zones pouvant présenter des atmosphères explosives et du zonage « explosion » résiduel,
4. l'évaluation de la probabilité de présence des sources d'inflammation,
5. la définition des moyens de réduction de cette probabilité.

Ensuite, l'Andra indique [23] que « *le classement des zones donne une hiérarchisation du risque vis-à-vis de l'occurrence d'une atmosphère explosive. Toutefois, l'occurrence d'inflammation et la gravité potentielle des conséquences du scénario retenu pour l'explosion sont à prendre en compte dans la sélection des situations de dimensionnement* ». Ainsi, « *le colis de stockage et la partie utile de l'alvéole constituent des zones à fort risque d'explosion ; les analyses de risque d'inflammation de l'hydrogène présent dans le colis de stockage et dans la partie utile de l'alvéole montrent l'absence ou la faible probabilité de présence de sources d'inflammation ce qui rend hautement improbable le risque d'explosion* ».

L'Andra conclut que (i) « *une explosion dans les installations souterraines n'est pas une situation de dimensionnement* », (ii) « *une explosion dans les colis de stockage et dans la partie utile de l'alvéole est une situation hors dimensionnement. L'évaluation des conséquences d'une telle explosion doit permettre d'identifier et de dimensionner, si nécessaire, des dispositions de protection des fonctions de sûreté de l'installation en phase d'exploitation et après fermeture de l'alvéole* ».

L'IRSN constate ainsi que la démarche suivie par l'Andra conduit à ne pas retenir une explosion comme une situation susceptible d'être considérée pour le dimensionnement de l'installation. L'IRSN rappelle également l'engagement E2.2 pris par l'Andra, relatif à l'établissement de critères pour le choix de scénarios retenus pour le dimensionnement (cf. chapitre 3 du présent rapport, relatif à la démarche de sûreté de l'Andra), qui s'applique pleinement au cas des scénarios de dimensionnement à retenir au titre de la maîtrise des risques liés à l'explosion. L'IRSN considère de plus que l'analyse des situations « du dimensionnement », comprenant nécessairement les zones à risque permanent d'explosion, doit être réalisée selon une démarche déterministe. En conséquence, la démarche de l'Andra, qui consiste à exclure les zones à risque d'explosion du dimensionnement au titre de la

---

<sup>9</sup>  $P_{\text{atex}} = P_{\text{accum}} \times (1 - P_{\text{ventil}}) \times P_{\text{seuil}}$ . Cette probabilité est égale au produit de la probabilité  $P_{\text{accum}}$  d'avoir une zone d'accumulation de gaz par la probabilité  $(1 - P_{\text{ventil}})$  d'absence ou de dysfonctionnement de la ventilation et par la probabilité  $P_{\text{seuil}}$  que le délai d'atteinte du seuil d'explosivité sans ventilation soit inférieur à la durée de présence de la source dans la zone.

maîtrise des risques liés à l'explosion, devrait être clarifiée, notamment eu égard à la mise en œuvre d'une approche déterministe.

En outre, l'IRSN observe que l'Andra évalue [23], sur la base du classement des zones à risques d'explosion retenu, la probabilité de présence des sources d'allumage avant d'envisager de réduire lesdites sources : l'Andra ne retient par exemple pas de matériels électriques adaptés au classement des zones à risque d'explosion. Or, selon la démarche d'analyse retenue par l'Andra, la limitation des sources d'allumage dans les zones à risque d'explosion ne devrait pas être liée à une probabilité de présence de ces sources mais être mise en place dans toutes les zones où une atmosphère explosive est possible.

Enfin, l'Andra indique [23] que les sources d'inflammation possibles sont celles listées dans la norme NF EN 1127-1, mais ne traite dans son analyse que les étincelles d'origine mécanique provoquées par les engins de manutention. Or l'IRSN estime que les sources d'inflammation, notamment sur les engins électro hydrauliques, ne se limitent pas aux étincelles d'origine mécanique, mais également d'origine électrique (arcs...) par exemple, qui ne peuvent à ce stade pas toutes être écartées.

E8.1 | Aussi, l'IRSN considère que l'Andra devra clarifier, dans le dossier accompagnant la DAC, sa démarche d'analyse des risques liés à l'explosion. L'Andra devra définir sur cette base les dispositions visant à maîtriser les risques d'explosion et à en limiter les conséquences, en tenant compte des différentes sources possibles d'inflammation, et des diverses situations de fonctionnement, incluant notamment le cas d'un arrêt de la ventilation.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

#### *Options de sûreté relatives à la maîtrise des risques d'explosion*

L'Andra indique [1] que certains colis MAVL émettent des gaz de radiolyse dont l'hydrogène représente plus de 90 % en volume. Aucune fonction d'étanchéité aux gaz n'étant associée aux colis primaires et aux colis de stockage, l'Andra considère [23] que les gaz peuvent se retrouver intégralement dans l'atmosphère des zones dans lesquels ils transitent ou sont stockés. Les zones identifiées à risque de formation d'ATEX sont ainsi les colis de stockage MAVL, les hottes, et les zones de transfert et de stockage des colis MAVL. Une zone à risque particulier est identifiée [23] dans la cellule de manutention de l'alvéole MAVL, dans laquelle sont chargées les batteries nécessaires aux engins de manutention de l'alvéole.

##### a. Analyse du risque

L'IRSN note que l'Andra définit des durées d'immobilisation des colis et d'indisponibilité de la ventilation.

- pour ce qui concerne les zones de transfert des colis de stockage, l'Andra définit [23] une situation normale (durée de transit de 1 jour dans les installations souterraines), une situation incidentelle « probable » (durée maximale d'immobilisation de colis de 7 jours) et une situation accidentelle « très peu probable » (durée d'immobilisation maximale de 30 jours). Ensuite, l'Andra évalue une probabilité de formation d'atmosphère explosive dans les locaux où les colis de stockage sont immobilisés ;
- pour ce qui concerne l'accumulation de gaz explosibles dans les alvéoles et les gaines de retour de ventilation de la zone de stockage MAVL, l'IRSN relève que la démarche de l'Andra est identique à celle développée ci-après pour les zones de transfert, si ce n'est que les critères s'appliquent à une durée d'indisponibilité de la ventilation, pour différentes situations de fonctionnement.

Sur le plan des principes, l'IRSN estime que pour les durées retenues, soit le risque de formation d'une ATEX est inexistant, soit une ATEX peut se former, et considère que la notion de probabilité de formation d'atmosphère explosive ne devrait pas être considérée, comme indiqué ci-après dans la remarque de l'IRSN relative à la

démarche d'analyse des risques liés à l'explosion. En outre, l'IRSN relève qu'à ce stade, les seuils objectifs en termes de durée maximale d'immobilisation des colis en transit et d'indisponibilité de la ventilation ne sont pas justifiés, et rappelle que les délais d'action postulés dans une démonstration de sûreté constituent des paramètres du domaine de fonctionnement autorisé de l'installation, incluant des marges.

E8.2 | Ainsi, l'IRSN considère que l'Andra devra justifier, dans le dossier accompagnant la DAC, (i) les durées maximales d'immobilisation des colis émetteurs de gaz de radiolyse en transit et (ii) les durées maximales d'indisponibilité des systèmes de ventilation, afin d'apprécier les risques d'explosion. Ces durées devront être définies avec des marges suffisantes.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

Par ailleurs, l'Andra présente [23] une méthode pour évaluer les délais de formation d'une ATEX dans les locaux de grand volume, tels qu'un alvéole MAVL, basée sur l'hypothèse de dilution homogène de l'hydrogène. L'IRSN estime que cette hypothèse n'est généralement pas considérée comme conservative, en particulier lorsque la dilution est envisagée sur le volume total du local et lorsque les débits d'hydrogène sont importants, mais relève néanmoins que l'Andra utilise des hypothèses de réduction du volume dans lequel la dilution est possible : « *les volumes libres [...] sont calculés en considérant que le gaz dégagé s'accumule de façon homogène en partie haute du volume sur une hauteur de 0,15 m et qu'il s'étale au maximum sur une longueur de 10 m* ». L'IRSN considère qu'à ce stade, la démonstration du caractère conservatif des hypothèses retenues n'est pas acquise.

De plus, pour ce qui concerne la validité de l'hypothèse de dilution de l'hydrogène dans les alvéoles par la ventilation, l'IRSN relève que l'Andra ne tient pas compte [23] de la fraction d'hydrogène issue de la charge des batteries dans la cellule de manutention, transmise par la ventilation et que l'ordre de grandeur du volume de cette fraction est comparable à celui de l'ensemble de l'hydrogène produit par les colis MAVL dans l'alvéole. Aussi, l'IRSN considère que le caractère enveloppe des situations à risque d'explosion liées au dégagement d'hydrogène n'est pas justifié à ce stade du projet. L'IRSN ajoute que pour le cas de la galerie de retour d'air, l'Andra n'a pas effectué de simulation de dilution de l'hydrogène en cas d'arrêt de la ventilation ; or l'hydrogène pourrait le cas échéant s'accumuler dans les singularités (virages, coudes, points hauts...) des gaines de retour d'air.

E8.3 | Ainsi, l'IRSN considère que l'Andra devra justifier, dans le dossier accompagnant la DAC, le caractère enveloppe des situations à risque d'explosion dans les alvéoles MAVL retenues pour le dimensionnement, en prenant notamment en compte toutes les sources de dégagement d'hydrogène, leur contribution à la formation d'une ATEX, et le cas échéant l'accumulation d'hydrogène dans les singularités des circuits de retour d'air des alvéoles MAVL en cas de panne prolongée de la ventilation.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

#### b. Prévention du risque

En matière de prévention du risque d'explosion lié aux gaz de radiolyse, l'Andra vise d'abord à réduire le dégagement d'hydrogène dans les colis B4.1 à un niveau proche de 10 l/an/fût, par exemple en attendant que le dégagement diminue avant d'autoriser la mise en alvéole. Pour cela, l'Andra envisage [23] un entreposage en surface à partir de 2045, préalablement à l'acceptation des colis pour le stockage, sur le critère de 20 l/an/colis.

Ensuite, l'Andra présente [23] le principe d'une ventilation de la partie utile des alvéoles de stockage MAVL permettant « *l'évacuation de l'hydrogène en permanence sans zone morte même lors d'un redémarrage après un arrêt prolongé* », tout en garantissant le redémarrage avant l'atteinte du seuil d'explosivité : ceci se traduit [23]

par un délai objectif de 10 jours pour récupérer la fonction de ventilation et la conception d'un deuxième type de ventilation, « *fiabilisée* » (cf. lettre DMR/DIR/10-0077), définie comme un système dont l'« *arrêt [...] pendant une durée supérieure aux délais de formation d'une atmosphère avec une concentration d'hydrogène de 0,4 % et de 1 %<sup>10</sup> est une situation hautement improbable* » (cf. lettre DMR/DIR/10-0077). L'IRSN relève que ce délai objectif sera vérifié ultérieurement par l'Andra et rappelle l'engagement E8.2 (cf. ci-après), relatif aux durées maximales d'indisponibilité des systèmes de ventilation, en particulier pour ce qui concerne la définition des caractéristiques de ce deuxième type de ventilation.

Pour ce qui concerne les opérations de fermeture des alvéoles MAVL, l'IRSN relève que les options de sûreté relatives à la prévention du risque d'explosion lié aux gaz de radiolyse ne sont pas définies à ce stade. Toutefois, l'Andra prévoit [23] de définir une procédure de fermeture minimisant le risque d'explosion ; les pistes explorées sont par exemple la synchronisation de la fermeture de la tête et du fond de l'alvéole pendant la coulée des massifs d'appui en béton afin de garantir l'efficacité de la ventilation pendant toute l'opération, ou encore l'inertage de l'alvéole [1]. Pour ce qui concerne les alvéoles fermés, l'IRSN relève également que les moyens de réduction du risque d'explosion lié aux gaz de radiolyse ne sont pas définis à ce stade, néanmoins l'Andra indique [23] qu'« *en fonction des résultats des investigations menées sur les conséquences d'une explosion au sein de la partie utile de l'alvéole, l'implantation de moyens de prévention (ex : de type inertage ou recombineurs auto-catalytiques passifs) pourrait être envisagée* ». L'IRSN rappelle que la recommandation du groupe permanent (« *analyser les risques d'explosion dans ces alvéoles de stockage ainsi que dans les galeries attenantes* ») s'entend également pour ce qui concerne les risques liés au dégagement d'hydrogène provenant d'alvéoles fermées vers les galeries attenantes. L'IRSN constate que les éléments avancés par l'Andra en matière de prévention du risque d'explosion dans les alvéoles fermés, scellés ou en cours de fermeture sont relativement préliminaires, et ne permettent pas de conclure quant à la faisabilité technique de leur mise en œuvre. Par conséquent, il conviendra de compléter le dossier accompagnant la DAC sur ce point.

Pour ce qui concerne la prévention du risque d'explosion lié à la charge des batteries dans la cellule de manutention de l'alvéole MAVL, l'Andra indique [1] que « *l'implantation [des] zones de charge des batteries sera choisie, dans la mesure du possible, à des distances suffisantes des colis de stockage et d'équipements importants pour la sûreté ou la sécurité* ». Cependant, l'IRSN rappelle que dans les options de conception présentées par l'Andra, la cellule de manutention est adjacente à la partie utile de l'alvéole.

De plus, l'Andra indique [14] que « *le type de batteries retenu sera celui qui dégagera le moins d'hydrogène* ». L'Andra annonce que le fonctionnement de la ventilation est nécessaire pour la charge des batteries, et qu'elle prévoit [23] dans la cellule de manutention « *la mise en place d'un dispositif de coupure d'alimentation activé sur détection de défaut de ventilation ou de présence d'une concentration d'hydrogène anormale* ». De ce fait, l'Andra considère que la cellule de manutention ne présente plus de risque de formation d'une ATEX, grâce à ces moyens de prévention et de détection. L'IRSN rappelle que cette conclusion permet notamment à l'Andra d'exclure l'implantation de matériels ATEX (exemples : antidéflagrants, non étincelants...) dans cette zone. L'Andra indique enfin [23] que pour un volume libre de la cellule de l'ordre de 4,5 m<sup>3</sup>, le délai d'atteinte de 25 % de la LIE H<sub>2</sub> est de l'ordre de 3h30. L'IRSN considère qu'une défaillance simultanée des capteurs et de l'asservissement de coupure de la charge ne peut être exclue sur la durée d'exploitation du stockage (tout comme un manque de fiabilité des détecteurs) et que les délais d'atteinte du seuil d'explosivité en cas de panne de la ventilation sont courts.

---

<sup>10</sup> Critères retenus par l'Andra de 10 % et de 25 % de la limite inférieure d'explosivité de l'hydrogène (LIE H<sub>2</sub>), qui est de 4 %.



E8.4

Ainsi, l'IRSN considère que l'Andra devra justifier, dans le dossier accompagnant la DAC, le lieu de charge des batteries des engins de manutention des alvéoles MAVL et, le cas échéant, l'absence de matériels ATEX dans la cellule de manutention des alvéoles MAVL.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

#### c. Conséquences d'une explosion

L'Andra a évalué [23] par le biais de simulations, notamment dans l'alvéole de stockage MAVL, les conséquences de trois scénarios d'explosion considérés comme « hors dimensionnement » (*i.e* des « situations [...] identifiées comme improbables mais dont la gravité est importante » [1]). L'IRSN constate d'une part que l'évaluation des conséquences de ces scénarios d'explosion fait état uniquement des désordres mécaniques infligés aux cibles de sûreté considérées, d'autre part que l'Andra ne retient pas de dispositions complémentaires de conception des colis et des alvéoles pour limiter les conséquences d'une explosion. L'IRSN relève néanmoins que l'Andra n'a étudié ni les conséquences radiologiques ni la transmission de l'explosion à un incendie. A cet égard, l'Andra envisage [23] d'approfondir les études de conséquences d'une explosion à l'intérieur des colis primaires, dans les alvéoles fermés et dans la hotte de transfert.

### 5.2.6 RISQUES LIÉS AUX OPERATIONS DE MANUTENTION

Comme indiqué dans le chapitre 4.2 relatif à la description du fonctionnement normal de l'installation, la plupart des opérations réalisées dans la zone nucléaire des installations souterraines (descenderie, galeries de liaison, modules de stockage comprenant les alvéoles) consistent à transporter des colis de stockage d'un endroit à un autre, et à les positionner à leur emplacement cible. Compte tenu du nombre de colis de stockage que l'installation accueillera (de l'ordre de 130 000 dans le scénario de dimensionnement présenté [9] par l'Andra) et de leur variété, ces opérations de manutention sont fréquentes pendant la phase d'exploitation du stockage, et mettent en jeu une grande quantité de procédés et de machines. A ces chiffres s'ajoutent ceux issus des flux de colis de stockage qui seraient récupérés au titre de la réversibilité ; pour ce qui concerne les procédés de manutention, l'IRSN relève que l'Andra ne présente pas de machines et d'outils spécifiquement dédiés au retrait des colis : en effet, l'Andra a précisé pendant l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0081) que « la démarche d'études a privilégié une conception des moyens de transfert et de manutention des colis qui puisse à la fois assurer la mise en stockage et le retrait des colis, autant que faire se peut ».

#### *Origine du risque*

L'Andra retient [1] comme situation incidentelle la détérioration des colis de stockage, à la suite notamment de :

- la « chute ou [la] collision de la hotte lors d'une opération de transfert dans la descenderie, le puits ou les galeries de transfert ;
- [la] chute d'un] colis lors de sa mise en alvéole de stockage essentiellement pour les colis MAVL au niveau de la cellule de manutention et de la partie utile de l'alvéole de stockage ;
- l'incendie du véhicule de transfert, de la navette ou des équipements de manutention au niveau des alvéoles » (examiné dans le paragraphe 5.2.5 du présent rapport).

L'Andra a transmis au cours de l'instruction un document [16] d'« analyse préliminaire des risques liés au transfert et à la manutention des colis HA et MAVL » qui présente l'étude des situations de « chute et de collision de colis de stockage » vis-à-vis des risques qu'elles génèrent.

### *Démarche d'analyse des risques liés à la manutention*

L'Andra présente [16] une démarche visant à « examiner les sources de dangers [...] pouvant conduire à une situation redoutée (incident et/ou [...] accident) et [à] vérifier que les mesures de prévention, de surveillance et de protection mises en œuvre sont suffisantes pour que les risques résiduels associés à ces situations soient acceptables ». L'Andra précise que cette démarche permet de « retenir in fine les scénarios de dimensionnement et hors dimensionnement pour lesquels des calculs de conséquences seront réalisés ».

L'Andra indique par ailleurs [16] que cette démarche se focalise à ce stade sur les conséquences d'une perte de confinement des colis, « les conséquences vis-à-vis de la perte ou de l'endommagement des autres fonctions de sûreté du stockage et des barrières autres que les colis [...] ne sont pas analysées ». Toutefois, l'Andra précise [16] que l'ensemble des situations conduisant à l'endommagement des hottes, des ouvrages et des EIS seront étudiées et présentées dans le dossier de DAC.

L'IRSN note que le Dossier 2005 présentait une analyse des risques liés à la manutention des colis en prenant comme scénario de référence une chute de colis. Celle-ci était envisagée principalement dans le puits de transfert (option de référence abandonnée au stade du Dossier 2009) et dans les alvéoles MAVL. Le Dossier 2009 présente une plus grande variété de scénarios de référence.

### *Options de sûreté relatives à la maîtrise des risques liés à la manutention*

Le Dossier 2009 introduit plusieurs nouveaux concepts de procédés de manutention par rapport au Dossier 2005 (cf. paragraphe 4.2 du présent rapport), et détaille les options de sûreté retenues pour la mise en œuvre de ces procédés. L'Andra étudie [16] deux familles de procédés de manutention distincts, à savoir (i) le transfert des hottes contenant les colis de stockage jusqu'à leur alvéole cible et (ii) la mise en alvéole des colis de stockage.

Pour la première famille, l'analyse de l'Andra porte principalement sur trois zones distinctes comportant des risques de collision ou de chute de colis au sein de la zone nucléaire souterraine : les installations de liaison jour-fond, la zone centrale de soutien et les galeries de liaison vers les modules de stockage, et la zone d'échange de la hotte (appelée « point de transbordement » au paragraphe 4.2.2 du présent rapport). Pour la seconde famille, la cellule de manutention et la partie utile de l'alvéole MAVL constituent les « zones à risques », le risque de perte de confinement de la matière nucléaire étant écarté par l'Andra dans l'alvéole HA pendant ces phases de manutention. L'IRSN estime que les zones présentant des risques particuliers liés à la manutention des colis sont identifiées par l'Andra de manière satisfaisante.

L'Andra retient les principes et exigences de sûreté suivants, détaillés au cours de l'instruction, et esquisse des premiers ordres de grandeur pour l'établissement du domaine de fonctionnement normal de l'installation :

- la mise en œuvre de pentes « douces » (10 % en moyenne pour la descenderie, 0 à 3 % pour les galeries de transfert, suivant le pendage de la couche géologique, 0 % en alvéoles).
- le maintien de vitesses de circulation des véhicules et des engins de manutention « limitées » (10 km/h en descenderie et en galeries, 10 m/min dans les alvéoles) et l'élaboration d'un « programme de gestion des flux de colis et de véhicules », déjà évoqué dans le chapitre relatif au fonctionnement normal de l'installation (cf. paragraphe 4.2 du présent rapport),
- la surveillance de chacune des étapes de la chaîne cinématique de transfert des colis (contrôle de position des colis, des véhicules et des moyens de manutention, contrôle du guidage des véhicules et des moyens de manutention (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) et caméras de surveillance),
- la limitation des fréquences d'occurrence d'événements redoutés par la mise en œuvre d'une redondance des équipements pour ce qui concerne les procédés de levage et de positionnement des colis, de freinage et de guidage des véhicules,

- la mise en œuvre de programmes de surveillance et de maintenance des équipements et des installations,
- la minimisation des hauteurs de manutention des colis (l'Andra précise [16] « à titre illustratif » que « les hauteurs potentielles de chute sont de l'ordre de 150 mm », mais retient également comme scénario « hors dimensionnement » une chute de 3 m de la hotte de transfert en cas d'accident dans la station haute du funiculaire installée dans la descenderie), par l'utilisation de tables élévatrices en alvéole MAVL et de procédés de remplissage des alvéoles par couches successives (cf. paragraphe 4.2 du présent rapport),
- la limitation de la présence de personnels grâce à l'utilisation de procédés de transmission des données permettant une télé-opération des engins et des moyens de manutention (cf. lettre DMR/DIR/10-0062),
- le dimensionnement des moyens de transport et des hottes aux collisions, par l'utilisation de « procédés et [d'] équipements correspondant à des techniques éprouvées » (cf. lettre DMR/DIR/10-0062),
- la capacité de ramener « à vide » les engins de manutention en tête d'alvéole en cas d'arrêt de la séquence de mise en alvéole d'un colis de stockage.

L'IRSN considère que les principes de sûreté et les exigences appliquées à certains composants du stockage sont cohérents avec les bonnes pratiques en matière de gestion des risques liés à la manutention dans les installations nucléaires. L'IRSN souligne que les exigences retenues par l'Andra sont ambitieuses, en particulier pour ce qui concerne la prévention de la chute des colis (hauteurs de manutention très faibles au regard de leurs dimensions, vérification des positions des colis à chaque étape du transfert...).

A cet égard, l'IRSN note que la limitation des hauteurs de manutention était considérée dans le Dossier 2005 comme l'exigence de conception et d'exploitation majeure en matière de prévention des risques liés à la manutention, et retenue à 2 m en alvéole. Au vu des options de conception présentées par l'Andra en matière de procédés de mise en alvéole des colis MAVL, l'IRSN considère que l'objectif d'une hauteur de manutention de 150 mm n'est pas atteint à ce jour, en particulier pour ce qui concerne le procédé dit de « stockeur à fourches » (cf. paragraphe 4.2), qui nécessite de lever le colis de stockage au moins jusqu' « à la hauteur correspondant à son niveau de dépose, qui peut atteindre 3 m » [16]. Aussi, l'IRSN attire l'attention sur la nécessité de mettre en cohérence les procédés de manutention envisagés et les exigences de sûreté retenues.

Il est à noter que lors de la réunion préparatoire à la réunion du groupe permanent, qui s'est tenue le 8 octobre 2010, l'Andra a précisé que l'objectif de hauteur de manutention de 150 mm précité ne s'appliquerait pas à l'ensemble des procédés de manutention présentés dans le Dossier 2009.

De plus, l'IRSN note que l'exigence de pentes de 3 % maximum dans les installations souterraines retenue par l'Andra correspond bien souvent, au vu du retour d'expérience de la sûreté des transports de matières radioactives, à un seuil au-delà duquel soit le colis de transport (en l'occurrence la hotte) est particulièrement étudié au regard des risques de chute et homologué en conséquence, soit des dispositions complémentaires d'arrimage et de blocage des colis sont envisagées. Or, l'Andra ne présente dans le Dossier 2009 ni le dimensionnement des hottes à la chute en prenant en compte cette exigence relative aux pentes, ni des dispositions particulières liées à la manutention sur des sols en pente. En conséquence, certaines caractéristiques du stockage peu classiques dans les installations nucléaires, telles que la pente des galeries, devraient être prises en compte, dans le dossier accompagnant la DAC, pour dimensionner les procédés de transfert et de manutention des colis.

#### *Scénarios retenus par l'Andra*

Pour chacune des zones à risques évoquées ci-dessus, l'Andra présente les causes susceptibles d'engendrer les incidents ou accidents de manutention retenus. Ces causes sont déclinées en scénarios et des dispositions concrètes permettant de les éviter, de les détecter, puis de limiter leurs conséquences, sont présentées et l'Andra

considère alors le « *risque résiduel* ». Ensuite, un ou plusieurs scénarios enveloppe des risques sont sélectionnés, et considérés comme « *de dimensionnement* » ou « *hors dimensionnement* ». L'Andra définit les scénarios « *hors dimensionnement* » comme étant d'une faible probabilité d'occurrence (par exemple [16] la chute d'une pile de trois colis lors de la mise en œuvre du procédé de pré-empilage dans la cellule de manutention d'un alvéole MAVL) ou résultant [16] d'une double défaillance. Enfin, l'Andra présente des simulations effectuées ou prévues au titre de l'estimation du risque résiduel.

L'IRSN rappelle que (i) l'établissement de critères de choix de scénarios à retenir pour le dimensionnement de l'installation fait l'objet de l'engagement E2.2 de l'Andra (cf. paragraphe 3.1 du présent rapport) et (ii) le dimensionnement de l'installation au regard des risques liés à la manutention doit être réalisé sur la base d'hypothèses déterministes. A ce titre, les défaillances susceptibles de concerner des cibles de sûreté doivent être prises en compte et les dispositions permettant de prévenir, pallier ou limiter leurs conséquences doivent être identifiées.

#### *Situations de blocage de la chaîne cinématique du stockage des colis*

L'IRSN soulignait à l'issue de l'instruction du Dossier 2005 (cf. rapport DSU n° 106) que l'Andra n'avait pas identifié les opérations qui pourraient être nécessaires pour la reprise d'un colis endommagé à la suite d'une chute dans l'alvéole. Le groupe permanent avait alors demandé de « *définir les dispositions permettant de remédier à une situation résultant de la chute d'un colis de déchets B lors de sa mise en place dans un alvéole* ». Or, l'Andra a indiqué au cours de l'instruction du Dossier 2009 (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) qu'« *il n'est pas retenu, au regard de sa faible occurrence, de scénario de blocage de la chaîne cinématique suite à un incident de manutention dans un alvéole* », mais a précisé que, bien que ce scénario ne soit pas retenu explicitement dans l'« *analyse préliminaire des risques liés au transfert et à la manutention des colis HA et MAVL* », il « *est considéré comme hors dimensionnement et sera abordé pour la DAC* ». L'IRSN note néanmoins que l'Andra a indiqué au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) qu'au titre de la maintenance des engins, « *les équipements de manutention sont conçus, pour qu'en cas de panne [...], l'opération en cours puisse être terminée en sécurité et qu'une intervention de réparation soit possible en offrant au personnel les conditions de radioprotection nécessaires* ». L'IRSN souligne que ces dispositions ne s'appliquent qu'à un arrêt de la séquence de mise en alvéole d'un colis, et non à l'endommagement d'un ou plusieurs composants situés à l'intérieur des alvéoles (dédiés à la manutention, la maintenance...).

L'IRSN estime que la recommandation du groupe permanent à l'issue de l'examen du Dossier 2005 reste donc toujours d'actualité, dans la mesure où les scénarios de reprise de colis à la suite d'une chute ne sont toujours pas présentés au stade du Dossier 2009.

D'une manière plus générale, l'IRSN considère que les installations souterraines offrent moins de possibilités d'action en cas de blocage de la chaîne cinématique du stockage qu'une installation de surface plus classique (contraintes liés aux espaces confinés, notamment).

De même, l'Andra ne retient pas de scénario de blocage pour la manutention et la mise en alvéole de colis de stockage HA. Les scénarios de blocage des outils de manutention dans les alvéoles HA restent néanmoins à prendre en compte dans la démonstration de sûreté.

E9.1

Ainsi, l'IRSN considère que l'Andra devra présenter, dans le dossier accompagnant la DAC, l'étude de situations de blocage de la chaîne cinématique de stockage des colis ainsi que les dispositions retenues pour prévenir ces situations et en limiter les conséquences.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

### *Récupération des colis*

Pour ce qui concerne la démonstration de la faisabilité de la récupération des colis dans le cadre de la mise en œuvre du processus de réversibilité, le guide de sûreté [ASN, 2008] indique qu'un des objectifs des investigations à mener dans un laboratoire souterrain est de « *contribuer à montrer la faisabilité de reprise des colis en dépit de l'éventuelle corrosion des conteneurs et des effets thermo-hydro-mécaniques* ». En 2005, le groupe permanent mentionnait que « *pour montrer la possibilité de mise en œuvre industrielle d'une installation de stockage sûre dans cette formation argileuse, il conviendrait [...] de confirmer l'efficacité des dispositions permettant de reprendre, sans difficulté excessive, les colis de déchets* » et l'ASN indiquait en outre que « *la reprise des colis de déchets dans les alvéoles de stockage et les dispositions de sûreté en exploitation devront notamment faire l'objet d'essais en laboratoire souterrain* ».

A cet égard, l'Andra a indiqué lors de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0084), que « *pour des raisons opérationnelles, [elle] privilégie pour ce type de démonstration des essais en surface, qui permettent de simuler les conditions du milieu souterrain et de traiter des situations hypothétiques* », et que « *les démonstrations détaillées des possibilités de retour en arrière à partir des niveaux 3 et au-delà [de l'échelle de récupérabilité, cf. Tableau 3] pourront être apportées lors de l'instruction des décisions de franchissement de ces niveaux, qui interviendront au-delà de 2025* ». L'IRSN estime que les essais d'ingénierie prévus par l'Andra en surface accompagnés des études programmées dans le Laboratoire, comme celles portant sur la corrosion ou les effets hydromécaniques, sont effectivement des éléments pouvant contribuer à montrer la faisabilité de la réversibilité, mais qu'elles ne constituent pas la démonstration proprement dite. L'IRSN estime que la démonstration de récupérabilité des colis nécessitera d'être fondée sur des prototypes réalisés *in situ* pour la demande de mise en service industrielle du stockage et note qu'à ce jour aucune expérimentation dédiée à cette démonstration n'est actuellement prévue dans le Laboratoire souterrain de MHM.

### *Industrialisation des procédés*

L'IRSN soulignait, à l'occasion de l'instruction du Dossier 2005, un besoin important de valider les concepts présentés par des prototypes ou des maquettes à une échelle transposable, dans l'optique de passer du stade des études à celui de la mise en œuvre effective d'une installation industrielle. A ce jour, le Dossier 2009 présente une plus grande variété de procédés de mise en alvéole de colis de stockage MAVL que dans le Dossier 2005, mais les études d'ingénierie n'ont pas encore débouché sur la création de prototypes ou de maquettes permettant de les valider sur le plan industriel.

E9.2

Ainsi, l'IRSN considère que l'Andra devra présenter, dans le dossier accompagnant la DAC, un ensemble d'éléments et autant que possible des résultats d'essais, visant à montrer que les options retenues pour la manutention des colis dans les alvéoles MAVL peuvent être mises en œuvre à l'échelle industrielle dans des conditions de sûreté satisfaisantes.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

## **5.2.7 RISQUES LIES A LA GESTION DES EAUX ET A L'INONDATION D'ORIGINE INTERNE**

L'exploitation des installations souterraines nécessite l'utilisation de divers fluides, compte tenu des différentes activités et de l'étendue de ces installations. L'Andra indique [1] que ces fluides sont véhiculés dans différents réseaux : alimentation en eau potable, en eau incendie, en eau pour la préparation du béton, récupération des eaux et effluents. Les risques d'inondation d'origine interne identifiés par l'Andra proviennent ainsi de la rupture de canalisations ou d'une intervention pour l'extinction d'un incendie.

Les principes de sûreté retenus par l'Andra (cf. lettre DMR/DIR/10-0078) pour la conception de ce réseau gravitaire sont d'abord (i) de « *privilégier les dispositions sans intervention humaine, ni apport d'énergie* », puis (ii) d' « *aménager les installations [notamment l'emplacement des réservoirs et des canalisations] afin d'éviter l'écoulement d'eau vers les locaux à protéger* », et enfin (iii) de « *maîtriser les rejets liquides* ».

Au cours de l'instruction, l'Andra a précisé sa stratégie pour la gestion des eaux dans les installations souterraines. Celle-ci repose en premier lieu sur la prévention des risques, à savoir la limitation des quantités d'eaux dans les galeries de la zone nucléaire : « *la présence de quantités d'eau significatives (canalisations sous eau et réservoirs d'eau industrielle, potable ou incendie) est [...] à ce stade exclue dans les galeries nucléaires en exploitation (galeries de transfert des colis) et dans les alvéoles de stockage* » (cf. lettre DMR/DIR/10-0078). La seconde ligne de défense présentée par l'Andra concerne la limitation des conséquences d'une inondation, à travers la mise en place d'un réseau gravitaire de récupération des eaux, dans les radiers des installations souterraines, permettant « *de diriger et de collecter les eaux d'infiltration (faibles dans les zones ventilées) ou d'inondation interne (situations incidentelles/accidentelles) dans des rétentions qui seront réparties dans les points bas du stockage (hors d'atteinte des colis de déchets) où elles pourront être contrôlées et relevées avant rejet* » (cf. lettre DMR/DIR/10-0078).

L'Andra prévoit d'installer [1] des dispositifs de détection de présence d'eau dans les points bas, avec un report d'alarme en salle de conduite, mais n'a ni évalué les débits d'eau maximaux cumulés dans les installations souterraines, ni intégré les contraintes particulières liées à la conception d'un réseau de collecte des eaux dans les tubes de la descendierie. L'Andra a toutefois indiqué au cours de l'instruction les différentes études qu'elle prévoit de réaliser pour le dossier accompagnant la DAC, afin de dimensionner les dispositifs de gestion des eaux dans les installations souterraines :

- « *localisation des points bas compte tenu du pendage naturel des terrains et des pentes des galeries induites par le fonctionnement du stockage* » ;
- dimensionnement des « *capacités de rétentions nécessaires* » ;
- choix des « *mesures de prévention (conception, contrôles périodiques...)* » ;
- choix des « *dispositions de contrôle radiochimique, de récupération et d'élimination des effluents* ».

Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

L'IRSN souligne que les résultats de ces études devront être mis en regard des quantités d'eau maximales attendues dans l'installation au cours de sa phase d'exploitation.

E10

A ce titre, l'IRSN considère que l'Andra devra évaluer, dans le dossier accompagnant la DAC, les quantités d'eau attendues dans le stockage pendant sa période d'exploitation, en prenant en compte les différentes sources potentielles, qu'elles soient associées au milieu géologique, à l'exploitation quotidienne du stockage, ou qu'elles soient générées lors d'incidents (rupture de canalisation, extinction d'incendie...), et spécifier sur cette base les dispositions retenues pour maîtriser ces venues d'eau.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

## 5.2.8 RISQUES LIÉS AUX ACTIVITÉS HUMAINES

### 5.2.8.1 Risques liés aux facteurs organisationnels et humains

L'Andra indique [1] que les risques liés aux facteurs organisationnels et humains (FOH) sont issus d'erreurs commises par le personnel d'exploitation, lorsque celui-ci met en œuvre un procédé ou interagit avec

l'organisation ou les machines présentes dans les installations. Ces risques conduisent notamment à « *une dégradation de la sûreté des installations* » menant à un impact radiologique potentiel sur « *le personnel, le public et l'environnement* ».

Comme rappelé dans le paragraphe 5.2.5.1 relatif à l'analyse des risques liés à la manutention, l'Andra adopte pour principe de sûreté la conception de procédés et d'engins minimisant l'action humaine. L'Andra décrit par ailleurs [1] succinctement une démarche de conception prenant en compte les risques liés aux facteurs humains et organisationnels dont l'objectif est une « *meilleure adaptation des postes de travail à leurs utilisateurs* » (ergonomie) et « *une évaluation en termes d'adaptation à l'homme des dispositifs (procédures et organisation) proposés* ». La mise en œuvre de cette démarche est basée, selon l'Andra, sur (i) l'étude des postes de travail, (ii) l'identification des différentes catégories d'utilisateurs des postes de travail intervenant dans l'installation nucléaire et la prise en compte des exigences liés à ces utilisateurs, (iii) une approche « *itérative et incrémentale* » entre les exigences retenues sur les postes de travail et les solutions techniques, (iv) l'utilisation de « *normes* ». L'Andra précise que la finalité de la mise en œuvre de cette démarche est la mise en place d'une organisation articulant une gestion de la documentation, de la communication, de la qualité, et des ressources humaines (compétences, habilitations et qualifications requises pour les postes de travail).

L'IRSN considère que la démarche de prise en compte des risques liés aux facteurs organisationnels et humains est cohérente avec les bonnes pratiques en termes de maîtrise de ces risques dans les installations nucléaires. A cet égard, l'IRSN rappelle que, dans le dossier accompagnant la DAC, les activités sensibles pour le facteur humain doivent être identifiées et la démarche retenue pour intégrer ce facteur dans la conduite de ces activités sensibles doit être présentée.

L'IRSN souligne que, selon les pratiques actuelles, l'exploitation d'une installation nucléaire classique (accessibilité, propreté, flux limité de personnel...) et le creusement d'un réseau de galeries minières (personnel nombreux, environnement confiné, sombre, voire poussiéreux...) requièrent de la part des personnels des qualifications très différentes, avec des objectifs de production également très différents. Dans le cas d'une exploitation concomitante (installation nucléaire et construction d'ouvrages souterrains), des consignes d'exploitation adaptées devront être définies.

Aussi, l'IRSN attire l'attention sur la prise en compte des différences existantes entre les cultures de sûreté des personnels exploitants d'INB et d'installations minières, dans l'analyse des risques liés aux facteurs organisationnels et humains. Il sera nécessaire que l'Andra bâtisse une culture de sûreté commune, fondée sur les risques spécifiques aux deux types d'activités, et partagée par les personnels évoluant dans les installations souterraines.

Enfin, l'IRSN observe que les risques liés aux FOH devront être maîtrisés à la fois dans l'espace (notamment en prenant en compte le développement progressif du stockage) et dans le temps (pendant une durée séculaire), ce qui nécessitera dès la construction la mise en œuvre d'un programme pérenne dédié à l'évolution de l'ergonomie des postes de travail et de l'organisation, et au maintien des compétences nécessaires à la mise en œuvre de la chaîne cinématique du stockage.

#### **5.2.8.2 Risques liés à la concomitance des activités nucléaires et minières (co-activité)**

L'Andra indique [1] que « *la possibilité de construire les modules de stockage au fur et à mesure de l'exploitation induit la coexistence d'activités nucléaires et d'activités non nucléaires, nommée co-activité* ». L'Andra distingue ainsi la zone « *nucléaire* » de la zone conventionnelle, dite « *de travaux* » (cf. Figure 19). Cette approche était

déjà évoquée dans le Dossier 2005 et l'Andra présentait un principe de séparation physique de ces zones que l'IRSN avait considéré « *globalement satisfaisant* » (cf. rapport DSU n°106).

Néanmoins, l'IRSN observe qu'un ordonnancement des activités de manière à minimiser la co-activité (séparation « temporelle », même partielle) permet d'une part un gain notable en matière de maîtrise des risques liés à la co-activité, et d'autre part la simplification des consignes d'exploitation en ne faisant figurer que les activités concernées, dans la mesure où la conduite de l'installation est dédiée pendant une durée donnée à un seul type d'activités et à une seule catégorie de personnels. A titre d'exemple, l'IRSN s'interroge sur l'opportunité d'interrompre les opérations d'excavation lors du transfert d'un colis. En conséquence, l'IRSN attire l'attention sur le fait que le principe de séparation temporelle des activités pourrait également être considéré par l'Andra, en complément du principe de séparation physique des activités.

#### *Démarche de prise en compte des risques liés à la co-activité*

Dans le Dossier 2009, l'Andra mentionne [1] deux types de risques liés à la co-activité :

- l'exposition radiologique du personnel intervenant dans la zone de travaux, liée à la proximité de la zone nucléaire, ou *via* la dispersion de matières radioactives provenant de la zone nucléaire (cf. paragraphe 5.2.1 du présent rapport) ;
- la propagation d'un incendie, considéré comme « *danger dimensionnant dans le milieu souterrain* », de la zone de travaux vers la zone nucléaire.

L'Andra a par ailleurs ajouté au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) que la dissémination de poussières de la zone de travaux vers la zone nucléaire était également retenue en tant que risque.

Du retour d'expérience de l'exploitation minière, l'IRSN observe que les accidents susceptibles de se produire dans la zone de travaux (incendies, explosions d'engins, chutes de blocs, effondrement de galeries...) sont de nature à avoir (i) une extension telle que leur propagation dans la zone nucléaire est envisageable, et (ii) le cas échéant un impact sur le personnel intervenant ou sur des composants importants pour la sûreté.

L'IRSN note que le Dossier 2009 évoque succinctement les risques liés à la co-activité mais que l'Andra a prévu de réaliser « *des études complémentaires [...] sur les risques de propagation d'incidents notamment au niveau des réseaux [galeries, fluides...]* pour s'assurer que la défection de l'un d'eux dans une zone n'entraîne pas l'arrêt de l'activité dans l'autre zone » (cf. lettre DMR/DIR/10-0062).

L'IRSN rappelle que l'Andra ne présente pas d'analyse des risques spécifiques à la zone de travaux dans le Dossier 2009.

E11 | Ainsi, l'IRSN considère que l'Andra devra compléter son analyse des risques liés à la co-activité dans le dossier accompagnant la DAC.  
| Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

#### *Principes de gestion des risques liés à la co-activité*

Afin d'éviter toute « *interférence opérationnelle* » entre les activités nucléaires et les travaux, l'Andra adopte un « *principe de séparation* » de tous les flux, évoqué au paragraphe 4.2 relatif à la description du fonctionnement normal de l'installation. L'Andra a précisé (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) que « *l'indépendance des zones « travaux » et « nucléaire » permet de ne pas répercuter les perturbations de flux [(de colis, déblais, fluides, engins de manutention, engins de chantier...)] de l'une sur l'autre* ». En vertu de ces principes, l'Andra décrit [1] des circuits séparés pour les flux liés à chacune de ces deux activités, ainsi que pour les circuits de ventilation ; ces derniers se rejoignent toutefois dans la partie aval des réseaux. L'Andra a précisé pendant l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) les principes d'implantation des séparations physiques de ces flux, au moyen de « sas » : la



plupart des sas seront implantés de manière pérenne dans chacune des recoupes et dans les galeries en interface avec la zone centrale de soutien. Dans ces sas, des dispositions particulières seront mises en œuvre pour assurer le cas échéant, en plus des fonctions de séparation, le passage du personnel d'une zone à l'autre (zonage radiologique, contrôles...). En outre, certains sas seront positionnés provisoirement dans les galeries de liaison : ils ont vocation à être déposés et réimplantés au fur et à mesure de l'avancée des travaux d'excavation et de mise à disposition de nouveaux modules ou alvéoles de stockage, marquant ainsi l'extension progressive de la zone nucléaire.

L'Andra a détaillé pendant l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) les options de sûreté retenues pour séparer physiquement les activités au moyen de ces sas :

- l'objectif premier de ces sas est la protection et l'évacuation des personnes en cas d'incident ;
- sauf cas particulier, et mise en œuvre d'équipements et de dispositions organisationnelles de passage d'une zone à l'autre, les sas ne constituent pas des points de passage du personnel ;
- en fonctionnement normal et incidentel, la conception des sas vise à ce que « *la zone nucléaire soit en dépression par rapport à la zone de travaux* » ;
- en cas d'incendie, une surpression de l'air présent dans les sas est assurée par conception, tout en garantissant l'option de sûreté précédente ;
- « *les réseaux [traversant ces sas] qui participent au maintien de fonctions de sécurité et de sûreté des installations souterraines et qui nécessitent d'être maintenus en situations incidentelle et accidentelle sont implantés afin de minimiser les modes communs de défaillance* ».

L'Andra a ajouté au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) que « *pour la demande d'autorisation de création, l'analyse complète de l'architecture et des systèmes de ventilation sera menée en étudiant les défaillances potentielles des sas ou de la ventilation et leurs conséquences dans le but de prévoir des dispositions complémentaires si nécessaire* ».

L'IRSN note que, si ces options de sûreté paraissent pertinentes, elles ne sont, à ce stade du projet, pas assorties d'exigences de sûreté sur les composants importants pour la sûreté intervenant dans la mise en œuvre de ces sas. Seules des exigences relatives au système aéraulique ont été précisées pendant l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) :

- des dispositifs secondaires de ventilation (ventilateurs, clapets, registres...) assurent une surpression du sas (inférieure à 80 Pa) par rapport aux galeries adjacentes, à savoir celle de la zone de travaux et celle de la zone nucléaire.
- une cascade de dépression est maintenue entre les zones nucléaire et de travaux, indépendamment de la surpression des sas mentionnée précédemment ; en application de la norme ISO 17873 pour les locaux classés C1 (cf. paragraphe 5.2.1 du présent rapport), celle-ci sera inférieure à 60 Pa.

Au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0062), l'Andra a présenté des éléments de pré-dimensionnement des sas permettant de séparer physiquement les différents flux, ainsi que sur la conduite de la ventilation de ces sas en situation normale et en cas d'incendie dans l'une ou l'autre zone. Les dispositions présentées sont basées sur des équipements (ventilateurs, filtres, clapets...) et des procédures de démarrage ou d'arrêt de ces dispositifs en fonction des incidents rencontrés. L'Andra a précisé que ces principes sont fondés sur l'expérience acquise dans les tunnels monotubes et bi-tubes existants ou en projet (section Ouest de l'autoroute A86, ligne ferroviaire Lyon-Turin...). Toutefois, l'IRSN considère qu'à ce stade des études, la faisabilité de telles dispositions relativement complexes dans leur mise en œuvre sera largement conditionnée par le dimensionnement des différents équipements aux risques : étanchéité, débits de fuite, degré coupe-feu, disponibilité des dispositifs de soufflage et d'extraction, etc. Cette considération est également applicable à des séparations a priori de moindre épaisseur, telles que les gaines d'extraction situées dans les galeries de retour d'air des sous-zones de stockage MAVL. Or,

L'IRSN constate qu'à ce stade des études, les taux de fuites tolérables, les caractéristiques des portes, la cascade de dépression minimale entre les deux zones, ainsi que la pression minimale à retenir dans les sas ne sont pas définis.

E11.1 Aussi, l'IRSN considère que l'Andra devra présenter, dans le dossier accompagnant la DAC, les exigences de sûreté et le dimensionnement des séparations physiques entre la zone de travaux et la zone nucléaire (incluant les sas et les gaines d'extraction d'air des alvéoles MAVL le cas échéant), justifiés au regard des risques liés à la co-activité.  
Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

L'IRSN souligne en outre deux points majeurs :

- l'IRSN considérait en 2005 que les caractéristiques des séparations entre les deux zones d'activités distinctes, sommairement décrites, et le cas échéant de leurs fonctions additionnelles, devaient « être précisées ultérieurement, en tenant compte notamment des exigences de résistance au feu et de radioprotection ». (cf. Rapport DSU n° 106). Cette considération reste donc toujours d'actualité.
- les nombreux sas susceptibles d'être implantés dans les installations souterraines constituent autant de points faibles aux interfaces entre la zone de travaux et la zone nucléaire, et de voies possibles de propagation d'un désordre survenant dans une zone vers l'autre. En particulier, compte tenu de l'objectif premier de ces sas (protection et évacuation du personnel en cas d'incident, cf. ci-après), l'IRSN s'interroge sur le bien fondé de leur positionnement dans chacune des recoupes de la zone MAVL, séparées de quelques dizaines de mètres. Là encore, l'IRSN considère que seule une identification précise des risques générés dans la zone de travaux permettront de valider cette option de conception consistant à implanter un très grand nombre de sas.

E11.2 Aussi, l'IRSN considère que l'Andra devra justifier, dans le dossier accompagnant la DAC, le positionnement et le nombre des sas marquant la séparation physique entre la zone nucléaire et la zone de travaux.  
Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

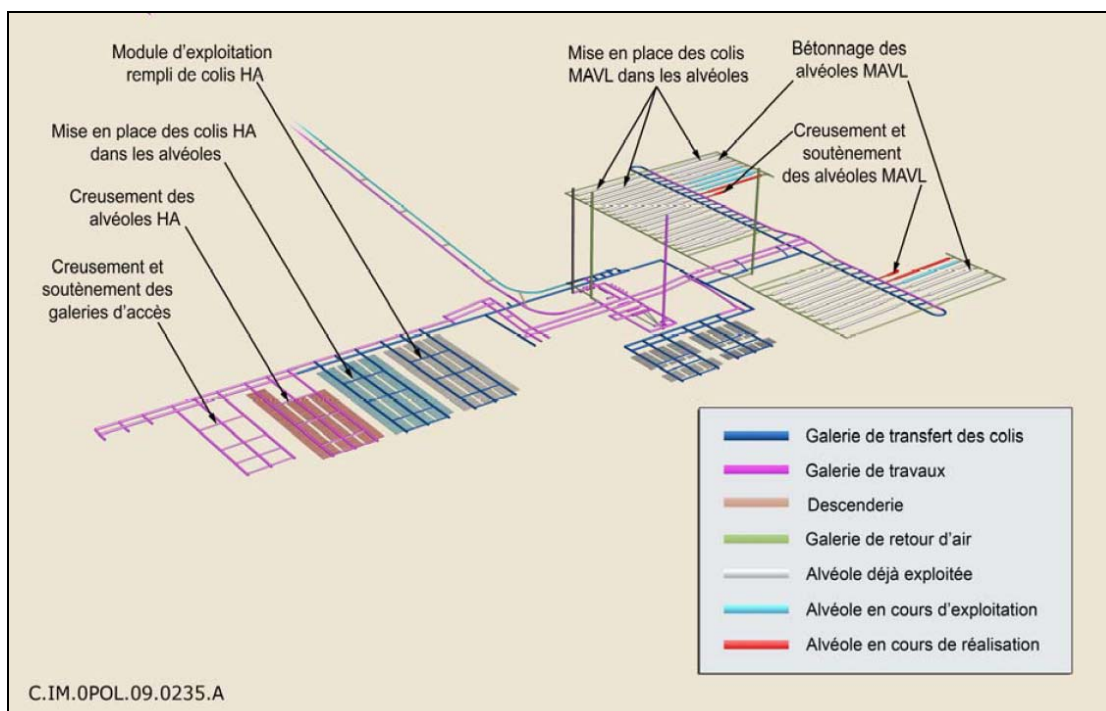


Figure 19 : Illustration de la co-activité dans les installations souterraines [9]

Enfin, les galeries de retour d'air de la zone MAVL, entourant les sous-zones de stockage, constituent un cas particulier ; en effet, elles ne sont pas « doublées » comme les galeries de liaison, pour séparer les flux de personnel, de matériaux et de soufflage d'air, et ne croisent pas de recoupes, mais sont étendues au fur et à mesure de la mise à disposition de nouveaux alvéoles. L'Andra a précisé au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0062) que ces galeries étaient situées dans la zone de travaux, que la séparation avec la zone nucléaire était matérialisée par le confinement dans une gaine en ciel de galerie de l'air extrait des alvéoles vers le puits de retour d'air de la zone de stockage MAVL, et que « l'exigence associée à l'activité de creusement pour l'extension de cette galerie est de disposer d'une distance suffisante entre ces activités et la gaine de retour d'air nucléaire pour limiter les interactions potentielles ». L'IRSN note qu'à ce stade du projet, les modalités précises de l'extension des galeries de retour d'air, au fur et à mesure du développement des sous-zones de stockage, ne sont pas connues (principes de protection des équipements, notamment ceux importants pour la sûreté, principes de connexion et d'extension des gaines de retour d'air, etc.). En tout état de cause, l'IRSN ne peut statuer sur le fait que la seule « distance » constituerait une disposition de maîtrise des risques suffisante, en particulier tant que les risques liés aux travaux miniers ne sont pas analysés et que les modalités d'extension des galeries de retour d'air n'ont pas été précisées.

E11.3 | Aussi, l'IRSN considère que l'Andra devra justifier, dans le dossier accompagnant la DAC, que les options de conception et les options de sûreté relatives aux galeries de retour d'air des sous-zones de stockage MAVL permettent de maîtriser les risques liés à la co-activité, dans la zone nucléaire (gainés) et dans la zone de travaux (galeries).  
Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

En conclusion, l'IRSN considère que, malgré les compléments importants apportés par l'Andra au cours de l'instruction, visant à préciser la prise en compte des principes retenus dans le Dossier 2009 en matière de co-activité, la démonstration de la sûreté de l'installation de stockage exploitée et construite de manière concomitante nécessite de nombreux compléments. L'IRSN attire l'attention sur l'enjeu de sûreté important lié à cette concomitance.

A l'échéance de la DAC, l'Andra devra donc être en mesure de présenter *a minima* (i) des exigences de sûreté associées aux composants participant à la mise en œuvre des séparations entre la zone nucléaire et la zone de travaux (sas, gainés de retour d'air de la zone MAVL...), et (ii) un premier dimensionnement de ces composants à des accidents de référence qui devront être notamment issus d'une analyse des risques provenant de la zone de travaux.

## 5.2.9 RISQUES LIÉS À LA PERTE D'AUXILIAIRES

### *Perte de la distribution électrique*

L'Andra considère [1] que la perte de la distribution électrique peut provenir du déclenchement des protections électriques internes du réseau, d'une rupture sur la ligne d'alimentation principale, d'un défaut des équipements, ou encore d'une agression interne ou externe (incendie, séisme...). L'Andra précise que les conséquences de ce phénomène pourraient être l'arrêt des systèmes de ventilation, l'arrêt des véhicules de transfert électriques non pourvus de batteries en fonctionnement normal, l'insuffisance des moyens d'évacuation du personnel (défaut d'éclairage, d'ascenseur...), ou encore la perte des moyens de conduite et de surveillance de l'installation.

L'Andra présente des grands principes de maîtrise des risques liés à la perte de distribution électrique, basés sur la prévention (exemple : redondance des voies d'alimentation et des réseaux électriques et minimisation des modes communs de défaillance), sur la récupération rapide de l'énergie nécessaire (exemple : basculement des

équipements sur des alimentations secourues ou ondulées), et sur la possibilité d'un basculement d'équipements vers des systèmes de dépannage ultimes, soit mécaniques soit alimentés par leurs propres systèmes de secours embarqués. L'Andra complète ces principes par des dispositions concernant le respect des normes et arrêtés en vigueur pour le dimensionnement des matériels, les contrôles périodiques et la maintenance des composants de surveillance du réseau électrique et d'alerte, reportés en salle de conduite.

A ce stade du projet, l'IRSN considère que les principes de sûreté et les principales dispositions présentés par l'Andra au regard des risques liés à la perte de distribution électrique sont cohérents avec les bonnes pratiques issues du retour d'expérience de l'exploitation des installations nucléaires de base.

#### *Perte des systèmes de conduite de l'installation*

L'Andra considère [1] que la perte des systèmes de conduite de l'installation peut provenir, outre les phénomènes présentés ci-dessus, d'erreurs dans les systèmes de programmation, de configurations non prévues, de perturbations électroniques (parasites...), de pannes sur divers capteurs, ou encore d'agressions internes ou externes. Il convient de rappeler que l'Andra retient, comme principe de conception des engins de manutention, la possibilité de les opérer à distance (cf. paragraphe 5.2.2 du présent rapport).

Les principes de sûreté énoncés par l'Andra pour ce qui concerne la maîtrise des risques liés à la perte des systèmes de conduite de l'installation visent principalement à s'assurer qu'en cas d'impossibilité de mener les opérations de stockage à distance, les opérations en cours puissent être terminées jusqu'à ce que l'installation puisse revenir à un état sûr. Ces principes sont basés sur la mise en œuvre d'« *une conduite semi-automatique ou manuelle des équipements ou véhicules pour remplir cette fonction dans un mode de fonctionnement dégradé* ».

L'Andra présente ensuite une série de dispositions de prévention (exemples : gestion des interfaces entre équipements afin de ne pas être sources de dysfonctionnements, protection des systèmes électriques contre les parasites...), et de détection (auto-surveillance des capteurs utilisés pour les équipements sensibles de l'installation, contrôles visuels des opérations liées au stockage...).

Ceci n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN à ce stade du projet.

#### *Perte des systèmes de ventilation*

L'Andra indique [1] que la perte des systèmes de ventilation de l'installation peut provenir, outre la perte de distribution électrique et la perte des systèmes de conduite de l'installation, de la défaillance des dispositifs de soufflage et d'extraction, du déclenchement intempestif de l'arrêt du soufflage (faux-positif d'une détection d'un incendie), ainsi que d'agressions internes et externes. Une telle perte aurait alors un impact sur le « confort » du personnel (élévation de la température, du ratio de poussières dans l'air ambiant...) et sur la sûreté de l'installation (élévation du risque d'explosion en raison de l'accumulation d'hydrogène dans les installations souterraines, perte des fonctions de confinement dynamique le cas échéant...). L'IRSN rappelle que l'installation de stockage, comme toute installation souterraine, ne peut accueillir de personnel dans des conditions normales d'exploitation si le renouvellement de l'air n'est pas assuré par la ventilation. L'examen de l'IRSN de l'analyse faite par l'Andra des risques liés à une perte des systèmes de ventilation sont présentés aux paragraphes 5.2.1 et 5.2.5 du présent rapport, relatifs aux risques de dissémination des matières radioactives et aux risques liés à l'incendie et à l'explosion.

#### *Perte des moyens de contrôle et de surveillance*

L'Andra indique [1] que la perte des moyens de contrôle et de surveillance de l'installation peut provenir d'une défaillance des capteurs, d'une perte d'alimentation électrique, ou d'agressions internes et externes. L'IRSN

rappelle que la surveillance radiologique de l'installation est notamment assurée grâce à l'extraction de l'air des installations souterraines, vers un émissaire de rejet en surface.

E12

Par conséquent, l'IRSN considère que l'Andra devra considérer, dans son analyse de l'origine des risques liés à la perte des moyens de contrôle et de surveillance, la perte des systèmes de ventilation.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

L'IRSN constate que le niveau de détail du Dossier 2009 ne permet pas d'identifier les moyens de contrôle et de surveillance de l'installation. Toutefois, l'Andra a indiqué que le dossier de DAC présentera leur conception et leur implantation, en particulier pour ceux qui seront identifiés comme éléments importants pour la sûreté.

Ceci n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN à ce stade du projet.

## 5.3 ANALYSE DES RISQUES D'ORIGINE EXTERNE DANS LES INSTALLATIONS DE LIAISON JOUR-FOND ET LES INSTALLATIONS SOUTERRAINES

### 5.3.1 RISQUES LIÉS AUX SEISMES

#### 5.3.1.1 Démarche générale d'estimation de l'aléa sismique

L'Andra a appliqué une démarche identique pour estimer l'aléa sismique relatif aux phases d'exploitation et de post-fermeture ; cette démarche est analysée dans le présent chapitre.

Pour estimer l'aléa sismique pendant la durée de la phase d'exploitation [15], l'Andra a déduit, à partir des sources sismiques locales et régionales, des Séismes Majorés de Sécurité (SMS) comme le définit la RFS 2001-01<sup>11</sup> et calculé des spectres de réponse sismique (mouvement ou accélération en fonction de la fréquence) pour chacun de ces SMS. De même, pour estimer l'aléa sismique pendant la durée de la phase de post-fermeture [15], l'Andra a déduit, à partir des sources sismiques locales et régionales, des Séismes Maximum Physiquement Possibles de Sécurité (SMPP ; cf. guide de sûreté de l'ASN pour les stockages profonds [ASN, 2008]) et calculé des spectres de réponse sismique pour chacun de ces SMPP.

La méthode retenue par l'Andra pour déterminer le « spectre SMS de référence » pour la phase d'exploitation à partir des SMS précités, identique à celle employée pour déterminer le « spectre SMP de référence » (« Séisme Maximal Proposé ») pour la phase de post-fermeture du stockage à partir des SMPP, suivant la même approche par arbre logique que dans le Dossier 2005, est analysée ci-après. Le spectre SMS de référence retenu est examiné dans le présent chapitre ; le spectre SMP de référence fait quant à lui l'objet du paragraphe 6.1.2.1 du présent rapport relatif au risque sismique en phase de post-fermeture.

L'Andra a développé trois modèles sismotectoniques MS1, MS2 et MS3<sup>12</sup>, chacun différant notamment par son « zonage » (sectorisation de la France selon les caractéristiques des failles, la récurrence des séismes...). Pour

<sup>11</sup> Séisme de magnitude équivalente à celle du séisme du catalogue historique susceptible d'engendrer les mouvements sismiques les plus forts sur le site -SMHV- augmentée de 0,5

<sup>12</sup> Le modèle MS1 est basé sur le zonage publié par le BRGM, auquel sont ajoutées les failles principales du secteur. La magnitude du SMPP associée à chaque faille est calculée d'après la longueur de la faille, à partir de lois d'échelle reliant la dimension de la rupture sismique et la magnitude du séisme. Le modèle MS2 est basé sur le zonage AFPS-EPAS [Autran et al., 1998]. L'Andra détermine les magnitudes des SMPP à partir du catalogue de sismicité en ajoutant forfaitairement 0,3 à la valeur de la magnitude du SMS. Le modèle MS3 a fait l'objet d'un zonage créé spécifiquement pour le projet MHM [34]. Les magnitudes des SMPP sont tirées d'un calcul statistique complétant le catalogue historique vers les grandes magnitudes (méthode de [Kijko, 2002]).

chacun de ces modèles, les sources sismiques locales et régionales permettent de définir deux spectres de réponse enveloppe respectivement. Les trois spectres régionaux et trois spectres locaux enveloppes ainsi obtenus sont pondérés suivant des choix d'expert<sup>13</sup> pour aboutir à un spectre SMS de référence final, ainsi que détaillé en 2005 dans le rapport DSU n°106. Cette méthode permet, selon l'Andra, de pallier l'incertitude sur la répartition de la déformation intracontinentale, et donc sur l'énergie des sources potentielles de séismes. L'Andra a indiqué, au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0096), qu' « au stade de 2009, les spectres de référence [SMS et SMP] restent ceux de 2005, calculés pour le site du laboratoire souterrain », à partir des modèles MS1, MS2 et MS3 définis en 2005. Néanmoins, en vue de leur prise en compte pour la DAC, l'Andra [15] a actualisé le modèle MS3 en fonction des connaissances structurales acquises depuis 2005, et a développé un nouveau modèle, « MS4 », basé sur un zonage publié par l'IRSN pour les INB (Berge-Thierry *et al.*, 2004), qui remplacera les modèles MS1 et MS2.

Ainsi qu'indiqué en 2005 dans le rapport DSU n°106, l'IRSN considère que d'un point de vue global, la méthode de détermination des spectres SMS et SMP basée sur plusieurs modèles sismotectoniques est pertinente car elle tient compte d'hypothèses sismotectoniques différentes.

Les poids attribués par l'Andra aux résultats des différents modèles sont analysés dans le paragraphe suivant pour le spectre SMS, et dans le paragraphe 6.1.2.1 pour le spectre SMP.

#### *Période de retour des séismes associés aux spectres de référence SMS et SMP*

Pour déterminer la période de retour des séismes associée aux spectres de référence SMS et SMP, l'Andra présente la même approche que dans le Dossier 2005, basée sur une estimation identique de la vitesse de glissement des failles susceptibles de produire les séismes dimensionnants, notamment les failles de Vittel, Gondrecourt et Metz. Considérant que leur vitesse est inférieure à celle des failles des zones actives proches données dans la littérature (e.g., fossé Rhénan :  $10^{-1}$  à  $10^{-3}$  mm/an), l'Andra retient des vitesses entre  $10^{-4}$  et  $10^{-3}$  mm/an pour les failles de socle telles que Vittel, Metz, et inférieures encore pour les failles de couverture comme Gondrecourt. Ces estimations conduisent l'Andra à considérer des périodes de retour de 5 000 à 10 000 ans pour le SMS et 500 000 ans pour le SMP.

L'IRSN considère comme en 2005 que les temps de retour des séismes dimensionnants tels qu'estimés par l'Andra sont affectés d'une grande incertitude. En effet, l'IRSN estime qu'une faible vitesse des failles encadrant le secteur de MHM est plausible, mais difficilement quantifiable, une vitesse de  $10^{-4}$  mm/an (10 cm/Ma) revenant à une déformation non détectable. En outre, ces vitesses apparaissent sous-estimées au regard du taux de déformation horizontal de la France (0,1 à 1 mm/an) qui peut être déduit des mesures géodésiques<sup>14</sup> (e.g. [Nocquet & Calais, 2003]). Aussi, l'IRSN considère que l'hypothèse de vitesses de  $10^{-3}$  à  $10^{-2}$  mm/an ne devrait pas être écartée pour les plus importantes des failles encadrant le secteur de MHM. L'IRSN considère par ailleurs qu'il conviendra que l'Andra montre que le spectre SMS de référence qui sera retenu (forfaitaire, calculé ou enveloppe des deux, voir paragraphe 5.3.1.2 suivant), eu égard aux incertitudes inhérentes à la durée d'ordre millénaire d'observation de la sismicité historique, est adapté à la durée séculaire de la phase d'exploitation du stockage profond, plus longue que celle des INB « classiques » auxquelles s'applique la RFS 2001-01. Ainsi, la période de retour estimée d'un séisme associé au spectre de référence SMS retenu lorsque l'implantation des installations aura été choisie, devra être suffisamment grande vis-à-vis de la durée séculaire de la phase d'exploitation.

<sup>13</sup> Poids respectifs des modèles MS1, MS2 et MS3, de 0,4 ; 0,2 et 0,4 pour le spectre SMS, et de 0,1 ; 0,3 et 0,6 pour le spectre SMP.

<sup>14</sup> D'après ces mesures, le taux de déformation horizontal est de  $10^{-10}$  à  $10^{-9}$ /an, attribuable à la convergence N-S Afrique/Europe, ce qui permet d'estimer un raccourcissement de 0,1 à 1 mm/an en considérant qu'il est absorbé sur 1000 km. Il convient ensuite de répartir ce raccourcissement sur les failles possiblement actives en France.

E13.1

Ainsi, l'IRSN considère que l'Andra devra justifier son évaluation de la période de retour des séismes associés aux spectres de référence SMS et SMP et les modalités de prise en compte des incertitudes associées aux vitesses des failles.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

### 5.3.1.2 Détermination du spectre SMS pour la phase d'exploitation

Il n'existe pas de référentiel directement applicable pour la détermination d'un spectre de référence d'une installation située en profondeur. L'Andra a donc appliqué, dans un premier temps, le référentiel élaboré pour les « installations nucléaires de base à l'exception des stockages à long terme de déchets radioactifs », la RFS 2001-01, pour déterminer un spectre SMS en surface pour la phase d'exploitation. Dans un deuxième temps, l'Andra a exploré les méthodes qui permettraient d'en déduire un spectre en profondeur pour les installations souterraines.

#### *Détermination préalable du spectre en surface*

En 2005, l'IRSN concluait que le spectre de référence SMS retenu par l'Andra à l'emplacement du laboratoire souterrain de MHM était acceptable. En effet, d'une part, le spectre calculé par la méthode décrite ci-dessus attribuait un poids important (0,4) au modèle MS1, que l'IRSN estime le plus proche de la méthode déterministe préconisée par la RFS 2001-01, d'autre part l'Andra avait finalement retenu le spectre minimal forfaitaire<sup>15</sup> préconisé par la RFS 2001-01 car il présentait des accélérations dépassant le spectre SMS calculé.

Au stade du Dossier 2009, l'Andra ([15] Tome 3) a étudié la variabilité, au sein de la zone de transposition, d'un spectre SMS calculé sur la base du modèle MS3 actualisé, et constate qu'en raison de la proximité des failles régionales, les bordures de la zone de transposition montrent un dépassement en accélération de ce spectre SMS calculé vis-à-vis du spectre forfaitaire, et en particulier la bordure SE (proximité de la faille de Gondrecourt). L'IRSN observe que le modèle MS3 actualisé est intéressant pour estimer la variabilité de l'aléa sismique dans la ZT, mais rappelle qu'afin de prendre en compte les incertitudes sismotectoniques, l'Andra avait déterminé un spectre SMS en 2005 à partir de plusieurs modèles sismotectoniques globalement cohérents avec la méthode déterministe préconisée par la RFS 2001-01. L'IRSN considère donc que dans le dossier accompagnant la DAC, la détermination par l'Andra du spectre SMS de référence pour la phase d'exploitation devrait être fondée sur une démarche similaire.

L'Andra a indiqué, au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0096), que si le site qui sera retenu pour l'implantation du stockage profond se trouve à proximité de ces failles bordières de la zone de transposition, c'est le spectre enveloppe du spectre forfaitaire de la RFS 2001-01 et du spectre SMS calculé qui sera retenu, ce qui est jugé satisfaisant par l'IRSN.

Enfin, l'Andra précise [29] que les spectres (en surface et en profondeur) qui seront à considérer pour le site du stockage seront calculés pour les emplacements des installations souterraines et des liaisons jour-fond lorsqu'ils auront été choisis, en fonction des caractéristiques locales du sol (géomorphologie et épaisseurs de sol altéré), ce que l'IRSN considère notamment nécessaire pour estimer les éventuels effets de site.

#### *Déduction du spectre en profondeur*

Depuis 2002, l'Andra a progressivement installé trois stations sismologiques autour du laboratoire de MHM de manière à améliorer la localisation et la détection des séismes régionaux, ainsi qu'un ensemble de stations

<sup>15</sup> Pour parer les incertitudes inhérentes aux zones à faible sismicité, la RFS 2001-01 indique que « le spectre retenu par l'exploitant pour le dimensionnement de son installation ne pourra pas être inférieur à un spectre minimal forfaitaire calé en accélération à 0,1 g à la fréquence infinie ».

accélérométriques en surface et à différentes profondeurs dans le laboratoire afin d'étudier l'atténuation locale du mouvement sismique avec la profondeur. L'IRSN approuve cette démarche visant à évaluer un modèle local d'atténuation du mouvement sismique avec la profondeur, mais souligne que la représentativité des résultats est conditionnée par l'acquisition d'un nombre suffisant d'enregistrements non seulement de télé-séismes (séismes situés à grande distance), qui ont des contenus basse fréquence, mais aussi de séismes régionaux, qui ont un contenu fréquentiel plus élevé. Compte tenu de la faible sismicité régionale, l'IRSN souligne que le réseau de l'Andra risque de n'enregistrer que des télé-séismes. A ce titre, l'IRSN considère que ce suivi sismologique devrait être maintenu aussi longtemps que possible. L'IRSN considère par ailleurs que l'étude au laboratoire de l'atténuation du mouvement sismique avec la profondeur devrait s'accompagner d'une analyse des données de séismes régionaux enregistrées dans d'autres sites en profondeur, notamment dans des contextes plus actifs.

L'Andra indique que, dans le cas où les enregistrements dans le laboratoire n'apporteraient pas suffisamment de données pertinentes, le spectre de référence SMS pour les installations souterraines pourrait être soit déduit des valeurs en surface en divisant le spectre de surface par un coefficient forfaitaire, soit obtenu à partir de signaux sismiques synthétiques et enregistrés compatibles avec les caractéristiques du SMS de surface, en utilisant un modèle de vitesse et d'atténuation spécifique au site<sup>16</sup>. L'IRSN estime que la proposition d'un coefficient forfaitaire constant sur toute la gamme de fréquences n'est pas acceptable en l'état, car l'atténuation en profondeur n'est pas identique sur toute la bande de fréquence : il semble en particulier que les ondes sismiques à haute fréquence soient moins (voire non) atténuées (comme suggéré par une simulation réalisée par l'IRSN pour l'instruction du Dossier 2005 dans les conditions du laboratoire souterrain ainsi que par la figure 29-1 de [15]). Néanmoins, l'IRSN note qu'en l'absence d'un nombre de données suffisant permettant de construire un modèle d'atténuation en profondeur, l'Andra considère à ce stade que le dimensionnement des installations souterraines doit être déterminé en retenant le spectre SMS de surface.

En conclusion, l'IRSN considère que la démarche de l'Andra, qui repose sur l'exploitation des données enregistrées sur les stations sismiques en surface et dans le laboratoire souterrain, permettra effectivement de définir un modèle local fiable d'atténuation du mouvement sismique en profondeur si un nombre suffisant de données est acquis, et que dans l'hypothèse du cas contraire, le choix par l'Andra de dimensionner les installations souterraines au spectre SMS de référence « de surface » serait acceptable.

### **5.3.1.3 Options de sûreté et de conception retenues pour la phase d'exploitation**

A ce stade de la démarche de dimensionnement, l'Andra retient [1] l'occurrence d'un séisme de type SMS (RFS 2001-01) pour ce qui concerne le transfert depuis la surface jusqu'à l'alvéole de stockage et la mise en alvéole. De fait, l'Andra vise le maintien des fonctions importantes pour la sûreté de l'installation nucléaire en cas d'occurrence d'un séisme SMS. Les risques associés à l'occurrence d'un tel séisme et identifiés par l'Andra sont la dispersion de substances radioactives, une exposition externe du personnel, un accident de criticité, une explosion, une venue d'eau dans les installations et un début d'incendie [1].

L'Andra prévoit de dimensionner au SMS, d'une part les ouvrages souterrains et les liaisons jour-fond afin qu'ils ne deviennent pas des agresseurs des équipements de sûreté et des colis de stockage, d'autre part les équipements de sûreté eux-mêmes. Ces équipements sont les véhicules de transfert et équipements de manutention (qui ne doivent pas lâcher ou faire basculer les colis au cours de leur transfert), les systèmes de ventilation (qui participent aux fonctions de sûreté confinement ou évacuation des gaz de radiolyse) et les protections radiologiques. Sont également prévus l'agencement des piles de colis de telle façon que les colis ne basculent pas

---

<sup>16</sup> Description spatiale des vitesses et des propriétés d'atténuation des ondes sismiques dans les couches géologiques du site. Par exemple, en contexte tabulaire, les propriétés du milieu varient avec la profondeur. Des mesures en forage vertical de type diagraphie acoustique permettent de déterminer le modèle de vitesse associé.



sous l'effet d'un séisme ainsi que leur maintien en configuration géométrique (agencement) sous-critique, et la fixation des équipements afin de ne pas devenir des projectiles pouvant dégrader une fonction importante de sûreté. L'Andra ajoute [1] qu'en complément, le fonctionnement de certains équipements pourra être asservi à des dispositifs de mesure (accélération) permettant de détecter une sollicitation sismique dans les installations souterraines et mettre les installations en état sûr. A l'issue d'un séisme, l'Andra prévoit de réaliser l'inspection des installations souterraines afin de détecter les dommages à l'ouvrage, les éboulements de roches ou de débris de revêtement ainsi que toute autre défaillance, et de prendre les mesures correctives nécessaires. L'IRSN note que ces principes, quoique présentés à l'état préliminaire au stade du Dossier 2009, relèvent d'une bonne pratique.

Pour ce qui concerne le comportement des installations souterraines sous aléa sismique, l'Andra avait présenté en 2005 des études analytiques et numériques de la stabilité mécanique d'ouvrages ouverts sous l'effet dynamique d'un séisme de niveau SMS. L'IRSN concluait qu'en première analyse, la stabilité mécanique des ouvrages devrait être assurée, mais que certaines dispositions complémentaires pourraient s'avérer nécessaires (notamment pour la reprise éventuelle des colis et la protection des puits contre des incursions hydrauliques). L'Andra ne présente pas de mise à jour de ces études au regard des évolutions de concepts au stade du Dossier 2009. De manière générale, l'IRSN souligne que le comportement acceptable des ouvrages et équipements en cas de séisme doit être démontré sur la base de critères (déformation, déplacement, perméabilité...) définis pour la combinaison d'actions<sup>17</sup> associée à chaque situation de fonctionnement de l'installation.

E13.2

L'IRSN considère que l'Andra devra présenter une évaluation quantifiée du comportement du stockage en cas de séisme pendant la phase d'exploitation, afin de vérifier qu'il demeure acceptable au regard des exigences associées aux différents ouvrages et équipements. Cette évaluation devra être établie notamment sur la base de combinaisons d'actions correspondant aux différentes situations de fonctionnement de l'installation.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

### 5.3.2 HYDROGEOLOGIE ET RISQUES LIES A L'INONDATION EXTERNE

Pour atteindre les installations souterraines, les liaisons jour-fond traverseront deux aquifères principaux : les calcaires du Barrois, karstiques et donc potentiellement très productifs, et ceux de l'Oxfordien. Ces deux aquifères sont séparés par des niveaux semi-perméables d'âge Kimméridgien (cf. paragraphe 4.1.1 du présent rapport présentant les cadres géologique et hydrogéologique du secteur de MHM). L'Andra indique [21] que les revêtements des puits du stockage seront, comme cela est le cas pour le laboratoire souterrain de MHM, étanches dans les calcaires du Barrois et drainants dans les autres formations. L'Andra a en outre précisé, au cours de la réunion préparatoire du 8 octobre 2010, qu'aucun dispositif d'étanchéité n'était prévu pour la descenderie ; les eaux en provenance du Barrois seront donc drainées au niveau de cet ouvrage, puis collectées et refoulées vers la surface. Dans le présent chapitre sont examinés d'une part, l'impact du drainage des aquifères sur le stockage (notamment l'influence de la baisse de pression hydrostatique de l'Oxfordien et l'éventuelle désaturation localisée) et d'autre part, les risques liés à une inondation d'origine externe dans les installations souterraines.

L'Andra a présenté au cours de l'instruction (lettre DMR/DIR/10-0078) une estimation de l'effet du drainage de l'Oxfordien pendant la durée d'ordre séculaire de la phase d'exploitation : « *une centaine d'années après le creusement des puits du stockage [...] le rabattement en paroi des puits et de la descenderie pourrait être de 160 à 200 m [dans les niveaux inférieurs] de l'Oxfordien* » et « *à une distance de 1 à 2 km des puits/descenderies, le*

<sup>17</sup> Ensemble des sollicitations appliquées à l'ouvrage : gravité, effets thermiques, hydrauliques etc., auxquelles s'ajoute la sollicitation sismique.

*rabattement dans ce niveau [...] pourrait être de 60 à 90 m* ». A cet égard, dans le périmètre du laboratoire souterrain, des forages permettent actuellement de suivre la perturbation hydraulique engendrée dans l'Oxfordien par le creusement des puits. Ces forages mettent en évidence des rabattements plus ou moins importants pour chaque niveau producteur. L'Andra a indiqué, au cours de l'instruction (cf. lettre DRM/DIR/10-0084), qu'aucun de ces niveaux n'était actuellement dénoyé mais estime que le niveau supérieur « *pourrait commencer à être dénoyé au niveau des puits d'ici 5 à 15 ans [et que] ce dénoyage devrait rester limité à quelques mètres* ». L'IRSN attire néanmoins l'attention sur le fait que l'Andra se base sur des mesures effectuées dans des forages de suivi à une distance d'au moins 70 m des puits et que l'extrapolation de ces mesures aux puits eux-mêmes est très incertaine (le rabattement étant de plus en plus prononcé à l'approche des puits) ; il n'est pas exclu qu'un dénoyage de l'Oxfordien ait déjà débuté au niveau des puits du laboratoire. Aussi, l'IRSN estime que, pour l'installation de stockage, le rabattement estimé par l'Andra induira un dénoyage<sup>18</sup> de l'Oxfordien au cours de la phase d'exploitation autour des liaisons jour-fond. Celui-ci engendrera différents phénomènes (précipitation de carbonates, diminution locale de la perméabilité du milieu, augmentation des vitesses d'écoulement...) aux abords des drains et contribuera à augmenter progressivement l'entraînement de fines vers les drains de ces ouvrages. Or, l'Andra n'a pas précisé les contraintes d'exploitation du stockage liées à la maintenance de ces drains. L'IRSN considère que s'ils se colmatent durablement, l'aquifère de l'Oxfordien ne sera plus drainé et que cette configuration pourrait par conséquent avoir une répercussion sur la tenue mécanique du revêtement des liaisons jour-fond (cf. paragraphe 5.2.1 du présent rapport).

E14.1 | Aussi, l'IRSN considère que l'Andra devra présenter, dans le dossier accompagnant la DAC, les mesures de prévention et les dispositions pour remédier au colmatage des drains du revêtement des liaisons jour-fond pendant toute la durée de la phase d'exploitation ; celles-ci devront être définies sur la base du retour d'expérience acquis notamment au laboratoire souterrain et associées au programme de surveillance des ouvrages de liaison jour-fond comprenant notamment le suivi piézométrique des aquifères drainés. Compte tenu de ces dispositions, les pressions maximales d'eau susceptibles d'être obtenues devront être estimées et le revêtement des liaisons jour-fond devra être dimensionné en conséquence.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

En outre, l'IRSN estime qu'il conviendrait que l'Andra vérifie que l'influence sur le comportement mécanique du Callovo-Oxfordien d'une baisse de pression hydrostatique dans l'Oxfordien comprise entre 100 et 200 m (1 à 2 MPa) sur la majeure partie de la zone de stockage, serait négligeable. Dans le cas contraire, il conviendrait d'en tenir compte dans les simulations visant à reproduire l'évolution de la zone endommagée par l'excavation des ouvrages ainsi que le comportement différé de la roche hôte (cf. paragraphe 6.2.1.2.2 du présent rapport).

Pour ce qui concerne le risque d'inondation d'origine externe, l'Andra indique [1] que la traversée par les puits des niveaux perméables et productifs tels que l'aquifère du Barrois « *nécessite des dispositions constructives pour réaliser une étanchéité à ces niveaux. Celles-ci ont été testées dans le laboratoire souterrain et le retour d'expérience sera utilisé* ». Néanmoins, le Dossier 2009 ne présente pas les dispositions qui seront mises en place dans les puits et la descenderie pour gérer les eaux en provenance des aquifères. L'IRSN rappelle en outre, ainsi qu'indiqué dans son avis DSU/2009-166 du 22 décembre 2009 relatif au choix de la ZIRA, que la reconnaissance des poches karstiques les plus importantes de l'aquifère du Barrois, par exemple au moyen de profils de résistivité

<sup>18</sup> L'Oxfordien est un aquifère captif, c'est-à-dire que son niveau piézométrique se trouve à une cote supérieure à celle du toit de l'aquifère. Dès lors que le rabattement entraîne un niveau piézométrique inférieur à cette cote, l'aquifère est dit « dénoyé » et de l'air commence à pénétrer dans l'aquifère.

électrique ou de forages à l'avancement, est un moyen de prévenir les risques d'inondation liés à ces poches lors du creusement des liaisons jour-fond du futur stockage.

E14.2

D'une manière générale, l'IRSN considère que l'Andra devra présenter, dans le dossier accompagnant la DAC, les dispositifs de maîtrise des eaux qui seront mis en place au niveau du Barrois dans les puits et dans la descenderie. Pour ce qui concerne les dispositifs d'étanchéité, l'Andra devra préciser leur objectif de performance, les dispositions de contrôle de leur efficacité, ainsi que les conséquences d'un éventuel défaut et les dispositions associées pour y remédier. Pour ce qui concerne les dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux drainées, l'Andra devra justifier, au regard des quantités d'eau susceptibles d'être recueillies, le dimensionnement des capacités de rétention et des débits d'évacuation. En outre, l'Andra devra évaluer, sur la base de premières investigations de terrain, la présence éventuelle de poches karstiques à proximité des liaisons jour-fond et présenter sa stratégie vis-à-vis d'éventuels compléments d'investigation et de gestion de ces poches.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

Enfin, pour ce qui concerne l'étendue de la perturbation hydraulique dans l'aquifère de l'Oxfordien, l'Andra ajoute (cf. lettre DMR/DIR/10-0078) qu' « à une distance de 5 km, le rabattement serait d'une dizaine de mètres environ sur la totalité de la couche géologique [du fait de connexions, à une certaine distance, entre les différents niveaux poreux, et] l'extension maximale du cône de rabattement serait de 10 à 15 km. Cette estimation est dépendante de la position exacte des puits/descenderie par rapport aux affleurements et aux failles ». L'IRSN précise que ce rabattement n'existera que pendant la durée d'ordre séculaire de la phase d'exploitation du stockage et que le niveau piézométrique de l'Oxfordien reviendra progressivement à son état initial après la fermeture du stockage. L'IRSN constate néanmoins que la zone d'affleurements de l'Oxfordien se situe à une distance inférieure à 10 km de la ZIRA, et par conséquent que le cône de rabattement pourrait atteindre, pendant la phase d'exploitation, une zone où l'Oxfordien se trouve être, comme le Barrois, l'aquifère superficiel, présentant de nombreuses sources. Le rayon d'influence du rabattement devrait également atteindre la zone de fracturation diffuse, dans laquelle il a été montré que l'Oxfordien pouvait être alimenté ponctuellement par les aquifères de surface [30]. Aussi, bien qu'il ne s'agisse pas d'un risque nucléaire, l'IRSN attire l'attention sur l'impact que pourrait avoir le drainage de cet aquifère ainsi que celui du Barrois sur l'environnement.

## **6 EVALUATION DE SURETE EN PHASE DE POST-FERMETURE**

### **6.1 ANALYSE DES RISQUES DANS LES INSTALLATIONS SOUTERRAINES**

#### **6.1.1 RISQUE D'ORIGINE INTERNE : CRITICITE**

L'Andra retient comme fonction de sûreté de l'installation de stockage après sa fermeture le maintien de la sous-criticité [1]. L'évaluation par l'Andra de la sous-criticité du stockage après sa fermeture, présentée dans le Dossier 2009, repose, comme en 2005, sur des études paramétriques visant à déterminer l'influence des phénomènes d'évolution envisageables des colis et des alvéoles sur la valeur du critère d'admissibilité ( $K_{eff}$ ). Ce critère est calculé pour une configuration de référence des colis et du stockage, qui correspond à celle de la phase d'exploitation (cf. paragraphe 5.2.4 du présent rapport). L'Andra précise [24] que les hypothèses et démonstrations qui avaient été retenues pour le Dossier 2005 seront conservées en vue de la démonstration de la maîtrise de la sûreté-criticité pour la phase de post-fermeture qui sera réalisée pour la DAC.

A cet égard, l'IRSN rappelle que la pertinence des configurations étudiées par l'Andra au regard des critères d'admissibilité devait être confirmée, comme indiqué lors de l'examen du Dossier 2005 (cf. rapport DSU n°106). La confirmation du conservatisme des hypothèses retenues pour le crédit burn-up dans le cas des combustibles usés issus de la filière électronucléaire à eau légère, demandée à l'Andra suite à l'examen par l'IRSN du Dossier 2005 (cf. rapport DSU n°106) n'est plus d'actualité car, comme indiqué au chapitre 2 du présent rapport, le modèle d'inventaire retenu par l'Andra à ce jour ne prend plus en compte les combustibles usés.

L'Andra indique par ailleurs [1], qu'elle intégrera, dans le cadre de l'élaboration du dossier présenté pour la DAC, les résultats du programme expérimental MIRTE, en précisant que ces résultats « *permettront de mieux justifier la qualification des codes de calculs utilisés au regard des modélisations retenues pour les calculs de criticité et d'affiner si nécessaire les marges de sûreté* ».

Pour ce qui concerne les conséquences d'un accident de criticité, l'Andra avait considéré, dans le Dossier 2005, un scénario de rapprochement des assemblages de combustibles usés de colis CU1 et CU2. Dans la note [24], l'Andra indique que cette étude réalisée en 2005 reste valable pour les colis CU3 du MID 2009 et que les conséquences thermique et mécanique résultant de cet accident restent inchangées et sont retenues pour le dimensionnement du stockage. L'IRSN estime, comme en 2005, que la démarche qui consiste à retenir ces éléments est conservatrice, ce qui n'appelle pas de commentaire.

Enfin, comme déjà évoqué dans le Dossier 2005, le risque de criticité à long terme dépend des possibilités de migration des éléments fissiles (conséquence d'une évolution des éléments du stockage), dans le cas où la matière fissile venait à se reconcentrer. L'Andra indique [1] que la possibilité d'une telle configuration sera évaluée sur la base de modélisations et analyses de sensibilité du risque de criticité à divers paramètres.

Ainsi, l'IRSN considère que, comme en 2005, la démarche que l'Andra prévoit de mettre en œuvre en vue de la présentation dans le dossier de DAC de la maîtrise du risque de criticité en phase de post-fermeture n'appelle pas de commentaire.

## **6.1.2 RISQUE D'ORIGINE EXTERNE : SEISMES**

### **6.1.2.1 Détermination du spectre sismique SMP pour la phase de post-fermeture**

#### *Détermination du spectre SMP en surface*

L'IRSN observe que le spectre de référence SMP présenté dans le Dossier 2009 pour la phase de post-fermeture du stockage est identique à celui analysé au stade du Dossier 2005 (cf. paragraphe 5.3.1.1 du présent rapport) et n'a donc pas d'autres commentaires que ceux mentionnés dans le rapport DSU n°106. L'IRSN note cependant qu'en vue de la DAC, l'Andra envisage d'utiliser une version actualisée du modèle MS3 et un nouveau modèle MS4 (qui remplacerait MS1-MS2, cf. paragraphe 5.3.1.1 du présent rapport). A cet égard, l'IRSN constate que ces deux modèles ne déterminent pas les SMPP sur la base des caractéristiques tectoniques des failles (c'est-à-dire en fonction de leur dimension) comme le préconise le guide de sûreté [ASN, 2008], mais à partir du catalogue de sismicité historique extrapolé vers les fortes magnitudes, ce que l'IRSN estime, comme indiqué en 2005, peu adapté à des estimations sur de très longues périodes.

Afin d'améliorer les connaissances relatives aux failles majeures du secteur de MHM, l'Andra a mené depuis 2005 des investigations sur l'activité tectonique de la faille de Vittel, ainsi que des études géophysiques et de cartographie dans ce secteur (cf. Annexe 11 du présent rapport).

L'IRSN considère que les investigations menées par l'Andra ont permis de progresser sur la connaissance de la géométrie des failles majeures de MHM. En particulier, sur la base des nouvelles données acquises, l'IRSN

considère convaincante l'hypothèse d'une structure de Gondrecourt limitée à la couverture sédimentaire. Les profils sismiques existants (profils pétroliers retraités par l'IRSN, ainsi que ceux retraités par l'Andra ou issus de la campagne de 2007-2008 et présentés pendant l'instruction, cf. lettre DMR/DIR/10-0096) confirment en effet l'enracinement des failles (profondeur à laquelle elles s'initient) au « *sommet de Permien - base du Trias* », indiqué dans [15]. Par conséquent, l'IRSN note que la dimension relativement réduite de la faille de Gondrecourt limite la taille des séismes à considérer pour cette source. En revanche, l'IRSN estime que les arguments donnés par l'Andra dans l'étude menée sur la faille de Vittel [28], qui l'amènent à identifier cette faille comme mineure dans la couverture mésozoïque et sans activité néotectonique, restent peu convaincants. A cet égard, l'IRSN convient qu'aucune observation néotectonique n'a pu être faite sur cet accident<sup>19</sup>, mais remarque qu'il présente une signature morphologique très marquée affectant l'affleurement de la couverture mésozoïque sur plus de 100 km (du Crétacé au Nord de Bar-sur-Aube jusqu'au Trias à l'Est de Vittel). En outre, l'IRSN convient que cette trace quasiment continue est soulignée par un phénomène d'érosion différentielle, mais considère qu'elle est également liée à un système complexe de failles enracinées dans le socle et affectant le Mésozoïque avec des rejets verticaux pluridécamétriques normaux ou inverses<sup>20</sup>. Les observations sur la faille de Vittel à Sommérecourt et Rizaucourt (André *et al.*, 2003, 2010) montrent qu'elle a été réactivée par chacun des épisodes tectoniques du Cénozoïque, et que son mouvement essentiel dans la couverture est décrochant dextre, lié à la compression alpine au Mio-Pliocène (environ 10 Ma), mouvement difficile à identifier sur le terrain car ne créant pas de rejet vertical notable. Compte tenu de ces faits, l'IRSN considère que les arguments portés par l'Andra pour affirmer que la faille de Vittel est inactive au quaternaire sont fragiles. L'Andra ne mettant pas en évidence de segmentation de la faille de Vittel dans son étude, l'IRSN considère que les caractéristiques des SMPP de la faille de Vittel devraient être évaluées en prenant en compte la dimension maximale de cette faille et les relations empiriques liant la taille des sources et la magnitude d'un séisme associé (Wells & Coppersmith, 1994). D'après ces relations empiriques, un SMPP sur la faille de Vittel correspondrait *a minima* à un séisme de magnitude 7<sup>21</sup>. Un tel séisme est susceptible de s'être produit à plusieurs reprises depuis le Miocène sur cette faille sans pour autant avoir occasionné des déplacements aisément détectables sur le terrain. En conséquence, l'IRSN considère que la faille de Vittel doit être considérée comme une source de potentiel sismogène important dans les hypothèses utilisées pour déterminer le spectre sismique SMP. A cet égard, l'hypothèse, retenue par l'Andra [28] dans les modèles MS3 actualisé et MS4, d'un SMPP d'une magnitude de l'ordre de 6,1 sur la faille de Vittel n'est pas, selon l'IRSN, conservative du point de vue de la sûreté.

E15.1

L'IRSN considère que, dans le dossier accompagnant la DAC et lorsque le site d'implantation du stockage aura été retenu, l'Andra devra déterminer le spectre SMP de référence pour la phase de post-fermeture, à partir de différents modèles sismotectoniques, dont un basé sur une analyse de la dimension et de la segmentation des failles du secteur de MHM. L'Andra devra justifier sur cette base le poids attribué à chacun de ces modèles sismotectoniques dans la définition du spectre SMP.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

Par ailleurs, comme dans le paragraphe 5.3.1.1, l'IRSN note que pour la DAC, l'Andra calculera le spectre SMP de référence en prenant en compte les caractéristiques du site de stockage lorsque son emplacement aura été choisi [29], ce qui n'appelle pas de commentaire.

<sup>19</sup> En particulier, les terrasses quaternaires de la vallée de la Marne n'apparaissent pas décalées verticalement de part et d'autre de la faille, et un affleurement montre, au-dessus d'une des branches de la faille, le Quaternaire non affecté par celle-ci.

<sup>20</sup> Voir notamment le profil sismique 91DNV01 recoupant la faille de Vittel à 30 km au Sud du laboratoire souterrain.

<sup>21</sup> Un séisme de magnitude 7 mobilise classiquement des failles d'environ 50 km de long pour 15 km de profondeur et est généralement associé à un déplacement d'ordre métrique.

### *Déduction du spectre SMP en profondeur*

Pour ce qui concerne le calcul du spectre SMP de référence en profondeur que l'Andra retient pour le dimensionnement des installations souterraines et des liaisons jour-fond, l'IRSN note que l'Andra prévoit de déterminer un modèle local d'atténuation en profondeur du mouvement sismique, notamment à partir des données acquises sur les stations sismiques dans le laboratoire souterrain de MHM. Comme indiqué au paragraphe 5.3.1.1 précédent, l'IRSN estime que cette démarche est satisfaisante et souligne qu'en l'absence d'un nombre suffisant de mesures permettant de déterminer un modèle local d'atténuation avec la profondeur, le choix par l'Andra de dimensionner les installations souterraines au spectre SMP de référence de surface serait acceptable.

#### **6.1.2.2 Options de sûreté et de conception pour la phase de post-fermeture**

Pour ce qui concerne l'effet des séismes sur les ouvrages après leur fermeture, l'Andra a indiqué au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0096) que « *l'analyse phénoménologique après fermeture associée au Dossier 2005 montre que le risque lié aux effets de séisme est essentiellement présent au niveau des interfaces entre les matériaux et les ouvrages présentant des vides* ». L'Andra a ajouté qu'en regard du dimensionnement des ouvrages, l'un des objectifs est dès les phases de conception puis de construction de limiter les sollicitations mécaniques en minimisant les vides résiduels et l'endommagement de la roche suite à l'excavation.

L'IRSN note que l'Andra prévoit une mise à jour de cette analyse pour la DAC (cf. lettre DMR/DIR/10-0079), et estime que cette analyse nécessitera d'être accompagnée d'une démonstration du comportement acceptable des ouvrages, en cas de séisme en phase de post-fermeture, au regard des fonctions de sûreté retenues sur le long terme.

Pour ce qui concerne l'effet des séismes sur le milieu géologique, l'Andra présente [15] la même analyse que dans le Dossier 2005 (Référentiel du site de 2004) et a indiqué pendant l'instruction (lettre DMR/DIR/10-0096) qu'il n'a pas été mené de nouvelle étude sur ce sujet. Lors de l'examen du Dossier 2005 (cf. rapport DSU n° 106), l'IRSN a souligné la nécessité de dresser un bilan des connaissances sur l'effet de séismes équivalents au SMP sur la barrière géologique. L'IRSN ajoutait en 2005 que, compte tenu des difficultés probables pour quantifier précisément ces effets, une approche possible serait de les postuler, d'évaluer leurs conséquences sur la sûreté et l'impact dosimétrique du stockage et d'apprécier, selon leur degré de vraisemblance, s'il est nécessaire d'envisager des dispositions de conception particulières pour les pallier (notamment le maintien d'une distance de garde entre les ouvrages et la projection verticale des structures détectées).

## **6.2 EVALUATION DES CAPACITES DE CONFINEMENT DU STOCKAGE**

L'examen par l'IRSN des capacités de confinement du stockage pendant la phase de post-fermeture porte, en premier lieu, sur l'évolution des propriétés des différentes barrières qui le constituent, à savoir (i) la barrière géologique (formation hôte du Callovo-Oxfordien), (ii) les barrières argileuses ouvragées (bouchons d'alvéoles HA, scellements de galeries d'accès aux alvéoles MAVL, de galeries de liaison et des liaisons jour-fond), et (iii) les colis et conteneurs de stockage. Cet examen prend en compte les principales perturbations (mécaniques, chimiques, hydriques et thermiques) susceptibles d'affecter les composants du stockage et leurs conséquences sur la sûreté du stockage. En second lieu sont examinés les éléments du Dossier 2009 relatifs, d'une part à l'évaluation quantitative du transfert des radionucléides au travers de ces différentes barrières, d'autre part à la caractérisation du système hydrogéologique du secteur de MHM.

## 6.2.1 LA BARRIERE GEOLOGIQUE

Les fonctions de sûreté assignées par l'Andra [1] à la formation hôte sont les suivantes :

- « isoler les déchets des phénomènes de surface et des intrusions humaines » ;
- « 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 ».

L'IRSN examine ci-après les divers éléments pouvant affecter la formation hôte, notamment la présence éventuelle de structures d'origine tectonique, les perturbations mécaniques et chimiques, les transitoires thermiques, hydriques et la présence de gaz.

### 6.2.1.1 Reconnaissance géologique de la formation hôte

Les investigations menées par l'Andra à l'échelle de la zone de transposition en 2007 et 2008 ont confirmé l'absence de structures tectoniques plurikilométriques traversant le Callovo-Oxfordien (cf. annexe 11). Une reconnaissance fine du site du futur stockage nécessite néanmoins d'être effectuée afin de statuer sur la présence éventuelle de plus petites structures, pouvant nécessiter d'adapter la démonstration de sûreté du stockage à ce type d'objet.

A l'issue de l'examen du Dossier 2005, l'IRSN considérait (cf. rapport DSU n°106) que les données géologiques présentées par l'Andra ne permettaient pas de conclure que l'endommagement tectonique du Callovo-Oxfordien était, sur l'ensemble de la zone de transposition, aussi faible que celui observé dans le laboratoire souterrain. L'IRSN ajoutait que pour évaluer les caractéristiques structurales du Callovo-Oxfordien à l'emplacement du futur stockage, la méthode géophysique de sismique 3D, efficace pour détecter des structures mineures dans des formations calcaires, nécessiterait probablement d'être couplée avec une reconnaissance de la formation argileuse au moyen de forages obliques réalisés à l'aplomb d'éventuels indices sismiques les plus marqués dans les formations sous-jacentes. Dans ce contexte, l'ASN a demandé à l'Andra de définir, en vue de la DAC « une stratégie de reconnaissance [...] pour identifier des volumes de roche pour lesquels la fracturation est absente ou peut être compensée en adaptant l'architecture de stockage, sans pénaliser la sûreté, et pour définir ainsi la localisation et l'emprise du stockage ». L'Andra a indiqué au cours de la présente instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0084) que suite aux investigations qu'elle mènera sur la ZIRA (notamment une campagne de sismique 3D), « il sera décidé du besoin et de la pertinence de moyens de reconnaissance à mettre en place à l'avancement de la construction du stockage », mais ne s'est pas prononcée sur ces moyens complémentaires. L'Andra a toutefois ajouté (cf. lettre DMR/DIR/10-0110) qu'un suivi régulier du milieu géologique et la mise en place de sections de mesure destinées au suivi du comportement hydro-mécanique sur la durée seront réalisés à l'avancement du fonçage des puits du futur stockage, en adaptant ces activités (déjà menées lors du creusement des puits d'accès au laboratoire souterrain) aux méthodes de creusement retenues pour le stockage. L'IRSN considère que les données ainsi recueillies permettront d'apporter des éléments de confirmation sur les propriétés du Callovo-Oxfordien et des formations sus-jacentes acquises dans la zone du laboratoire, en particulier relatifs à l'absence de discontinuité structurale recoupant les puits. A cet égard, compte tenu de la difficulté de repérer visuellement des structures d'origine tectonique dans des argiles, l'IRSN estime que l'Andra devrait s'assurer que les géologues en charge des observations des parements des puits auront l'expérience nécessaire pour distinguer ces éventuelles fractures d'origine tectonique. Il conviendrait également de définir *a priori* les types d'observation qui pourraient entraîner un arrêt du creusement pour réaliser des observations complémentaires. De façon générale, l'IRSN considère qu'il conviendrait que la stratégie de reconnaissance de l'Andra fasse état des éléments qui conduiraient à une adaptation des concepts du stockage. Par ailleurs, l'Andra n'a pas indiqué si des forages

pilotes, à réaliser préalablement aux liaisons jour-fond, étaient prévus mais a précisé, au cours de la réunion préparatoire du 8 octobre 2010, que la réalisation de tels forages relève d'une bonne pratique.

En conclusion, l'IRSN considère que la demande de l'ASN, relative à la définition d'une stratégie de reconnaissance pour identifier des volumes de roche pour lesquels la fracturation est absente ou peut être compensée en adaptant l'architecture de stockage, reste d'actualité.

### 6.2.1.2 Perturbations mécaniques

A l'issue de l'examen du Dossier 2005, l'ASN a demandé à l'Andra pour établir le dossier accompagnant la DAC d'améliorer « *la compréhension du comportement mécanique de la roche, notamment en lien avec les techniques de creusement [...] par des expériences in situ* ». À cet égard, le GPD recommande en particulier que l'Andra améliore « *la compréhension [...] des couplages entre les différents phénomènes* ». Le présent chapitre examine les éléments apportés par l'Andra dans le Dossier 2009 pour répondre à ces demandes.

#### 6.2.1.2.1 Caractéristiques mécaniques du Callovo-Oxfordien

La formation du Callovo-Oxfordien présente différentes unités géomécaniques plus ou moins carbonatées ou argileuses. Ainsi que le rappelle le paragraphe 4.1.3 du présent rapport, les ouvrages souterrains du stockage sont envisagés sur un seul niveau, au milieu de la formation hôte, dans la zone d'argilosité maximale. La résistance à la compression simple de cette unité géomécanique varie de 15 à 30 MPa selon les forages, avec des valeurs comprises entre 12 et 18 MPa mesurées au micro-pénétrömètre sur des niveaux très fins et particulièrement argileux. La résistance à la compression simple mesurée dans les unités plus carbonatées est de l'ordre de 30 MPa. L'Andra indique [15] que de nombreuses méthodes ont été mises en œuvre pour étudier les contraintes naturelles *in situ*. A 500 m de profondeur et à l'aplomb du laboratoire souterrain, l'Andra estime que la contrainte naturelle verticale est de l'ordre de 12 MPa, ce qui correspond au poids des terrains sus-jacents. La contrainte horizontale mineure  $y$  est de l'ordre de  $12 \pm 0,5$  MPa et la contrainte horizontale majeure, orientée N 155°, est comprise entre 12,5 MPa et 16 MPa [15]. L'IRSN note que ces éléments conduisent à un rapport d'anisotropie des contraintes horizontales compris entre 1 et 1,3, soit légèrement inférieur aux estimations présentées dans le Dossier 2005. L'IRSN constate les progrès réalisés par l'Andra dans la caractérisation des contraintes naturelles et note que l'Andra prévoit de réduire le domaine d'incertitude autour de la valeur de la contrainte horizontale majeure dans le Callovo-Oxfordien par diverses expérimentations (cf. lettre DMR/DIR/10-0084 transmise au cours de l'instruction).

#### 6.2.1.2.2 Zone endommagée induite par l'excavation des ouvrages

##### *Etat des connaissances*

Dans le Dossier 2005, l'Andra évaluait l'extension de la zone endommagée induite par le déconfinement de la roche autour des ouvrages, encore appelée EDZ<sup>22</sup>, essentiellement sur la base de modélisations numériques 2D et d'hypothèses supposées majorantes en l'état des connaissances. Dans la zone d'argilosité maximale, à 490 m de profondeur et selon l'orientation des ouvrages par rapport aux contraintes naturelles, la zone endommagée ainsi calculée comportait une zone fracturée de 0 à 0,1 R d'extension et une zone microfissurée de 0,3 à 0,7 R d'extension, où « R » est le rayon de l'ouvrage. Lorsque les premières galeries du laboratoire souterrain ont été réalisées à -490 m dans le courant 2005, un système de fractures de cisaillement, qui n'avait pas été prévu ni observé lors du creusement de la niche à -445 m, est apparu en avant du front de taille et s'est superposé à la zone endommagée attendue (cf. Figure 20).

<sup>22</sup> EDZ (« Excavated Damaged Zone ») : zone où les perturbations hydromécaniques et géochimiques induites par le creusement induisent des variations significatives sur les propriétés hydrauliques et de transport de la roche hôte ([15], tome 2).



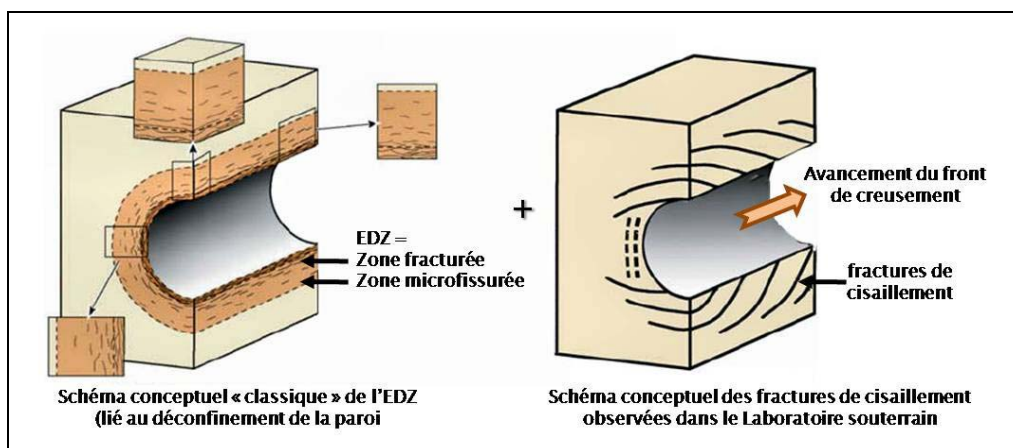


Figure 20 : Schéma conceptuel de l'EDZ (d'après [6])

Dans son examen du Dossier 2005, l'IRSN observait (cf. rapport DSU n°106) que les premiers résultats obtenus dans le laboratoire souterrain confirmaient les ordres de grandeur attendus pour la perméabilité de la zone endommagée mais que l'extension de la zone fracturée à -490 m était plus grande que prévue, sans pour autant remettre en question les options de scellement envisagées par l'Andra. L'IRSN soulignait la nécessité d'améliorer la compréhension du comportement mécanique de la roche, en particulier par la réalisation de démonstrateurs d'ouvrages de stockage, notamment pour les grands ouvrages.

L'Andra confirme dans le Dossier 2009 [6] qu'à 445 m de profondeur, dans le niveau supérieur plus carbonaté de la formation hôte, la zone endommagée se limite à une zone microfissurée d'une extension de l'ordre de 0,1 à 0,2 R selon l'orientation des ouvrages. L'Andra estime que « ces caractéristiques sont favorables car c'est au niveau de cette zone que pourrait être réalisé le scellement des ouvrages de liaison jour-fond du stockage (puits, descenderie) ». L'IRSN convient que la zone endommagée liée à l'excavation des ouvrages à -445 m est d'extension limitée, ce qui devrait permettre d'y réaliser des scellements efficaces.

Pour ce qui concerne le niveau -490 m, le plus argileux de la formation hôte, l'Andra précise les différentes fractures liées à l'excavation observées autour des galeries du laboratoire souterrain (cf. Figure 21) et indique [6] que des fractures de cisaillement s'initient en avant du front de taille et se développent jusqu'à une distance maximale d'environ 1 R de la paroi. L'IRSN constate les progrès réalisés par l'Andra dans la caractérisation de la fracturation liée à l'excavation des galeries du laboratoire souterrain de MHM à -490 m.

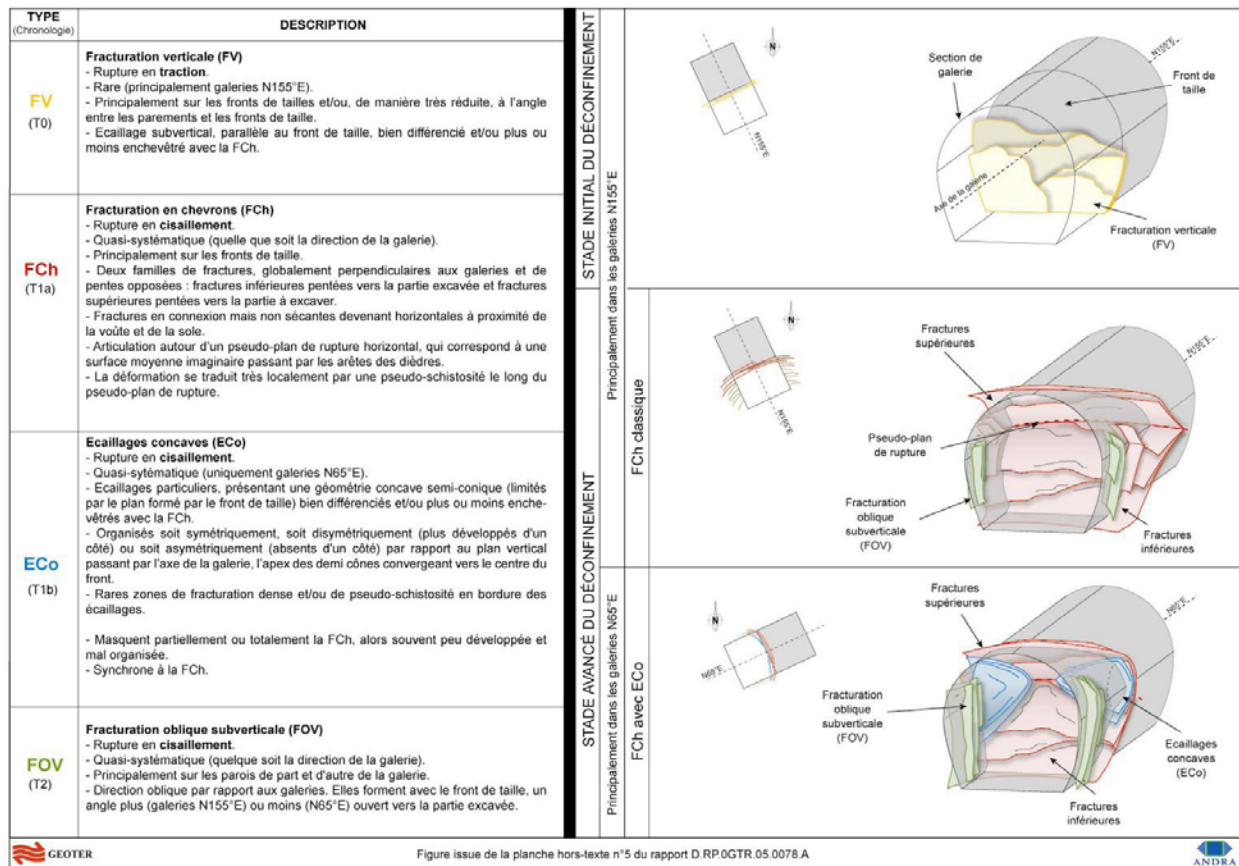


Figure 21 : Fractures liées à l'excavation autour des galeries du laboratoire souterrain de MHM à -490 m [15]

L'Andra indique en outre [6] que la perméabilité à l'eau des fractures de cisaillement observées décroît de  $10^{-8}$ - $10^{-11}$  m/s près de la paroi à moins de  $10^{-12}$  m/s au-delà de 0,2-0,5 R. Pour ce qui concerne la zone fracturée par déconfinement, l'Andra indique que « les valeurs de perméabilité mesurées sont inférieures à  $10^{-8}$  m/s, certaines étant proches de  $10^{-10}$  m/s [...]. L'extension maximale de la zone fracturée autour des galeries du laboratoire est d'environ 0,2 [R] soit du même ordre de grandeur que celle donnée par les simulations 2D [0,1 R] ». Au-delà de la zone fracturée, l'Andra indique que les perméabilités retrouvent des valeurs « inférieures à  $10^{-12}$  m/s, soit inférieures à celles attribuées aux argilites microfissurées. [Les mesures] indiquent donc une microfissuration limitée ou nulle, ainsi qu'une perméabilité très faible de fractures de cisaillement éventuellement recoupées ». L'IRSN constate que l'extension de la zone fracturée induite à -490 m par le seul déconfinement de la roche (de l'ordre de 0,2 R), bien que supérieure à celle prévue par les simulations numériques (0 à 0,1R), est compatible avec la précision des modèles géomécaniques.

L'IRSN signale cependant que d'après [Shao, 2008], l'extension de la zone endommagée observée à Bure autour des galeries peut atteindre 1 à 2 R. L'Andra a précisé (cf. lettre DMR/DIR/10-0084 transmise au cours de l'instruction) que cette extension n'avait été observée que dans un endroit très spécifique du laboratoire souterrain correspondant à un pilier situé entre quatre galeries (GKE, GEX, GLE et GMR). L'IRSN note qu'à -490 m, la zone endommagée par l'excavation comprend, outre une zone fracturée et une zone microfissurée attenante toutes deux induites par le déconfinement de la roche, des fractures de cisaillement initiées en avant du front de taille. L'extension de cette zone endommagée (au sens de zone où les propriétés hydrauliques et de transport de la roche ont été significativement modifiées) est généralement limitée à 0,5 R mais l'IRSN constate qu'elle peut atteindre 1 à 2 R dans certaines configurations plus complexes. L'IRSN rappelle que les options de scellement avec saignées envisagées par l'Andra (cf. Figure 13) visent à intercepter la

zone endommagée fracturée et que la profondeur actuellement envisagée de ces saignées est de 1,5 à 3 m. Ce point est examiné au paragraphe 6.2.2.2 du présent rapport relatif aux ouvrages de scellement.

L'Andra indique par ailleurs [6] que la formation des fractures de cisaillement « *est bien reproduite par des simulations numériques 3D du creusement des galeries prenant en compte le front de creusement et son avancement* ». Cependant, l'Andra a précisé (cf. lettre DMR/DIR/10-0084 transmise au cours de l'instruction) que ces modélisations localisent les zones où peuvent apparaître ces fractures « *mais sont incapables de reproduire l'extension des fractures et leur évolution sous différents chargements* ». L'IRSN indique que ses propres tentatives de modélisation conduisent à des conclusions similaires. L'IRSN constate que bien que des modèles numériques permettent de localiser les zones d'apparition des fractures de cisaillement, la simulation de la création et de l'évolution des fractures individualisées nécessite encore des progrès.

Pour ce qui concerne le comportement différé de la zone endommagée, l'Andra rappelle [6] que « *différentes observations faites sur échantillons et dans des ouvrages souterrains indiquent que les propriétés de transport de l'EDZ diminuent avec la resaturation de la roche et avec le confinement mécanique de la paroi par la mise en place d'un revêtement ou d'un chemisage rigides ou par le gonflement d'un noyau de scellement (une diminution de la perméabilité de l'EDZ de deux ordres de grandeur pour une pression appliquée de 4 à 5 MPa a été observée au laboratoire du Mont Terri en Suisse)* ». L'IRSN note toutefois que ces résultats, issus du projet SELFRAC réalisé à Mol (Belgique) et au Mont Terri (Suisse), n'ont pas montré de cicatrization complète de l'EDZ (même dans le cas de l'argile de Boom pourtant réputée plastique) mais seulement une tendance au colmatage (ou à la refermeture) de l'EDZ, rapide sur l'argile de Boom et beaucoup plus lente sur l'argile à Opalinus [SELFAC, 2007]. De plus, la zone endommagée observée au laboratoire souterrain du Mont Terri diffère de celle observée à Bure à -490 m pour ce qui concerne les fractures de cisaillement ; ces dernières, inclinées à Bure au voisinage de la paroi, devraient être sollicitées en mode mixte « effort normal-cisaillement » au voisinage de celle-ci par la pression mécanique qui y est appliquée. Or, des essais réalisés sur échantillons d'argile à Opalinus montrent (présentation orale à colloque [Cus, 2010]) que la conductivité hydraulique de fractures sollicitées en mode mixte, bien que décroissante de façon générale, présente sur ces échantillons des augmentations transitoires. L'Andra indique [6] que la réduction des propriétés de transport de l'EDZ avec la resaturation et le confinement mécanique de la paroi sera quantifiée plus précisément dans les argilites du Callovo-Oxfordien. L'IRSN estime que cette réduction doit effectivement être confirmée et quantifiée à Bure puis intégrée dans une modélisation plus complète du comportement différé de la zone endommagée tenant compte de l'ensemble des mécanismes, y compris défavorables.

L'IRSN considère que l'absence de modèle numérique satisfaisant permettant de reproduire le comportement des fractures observées limite les possibilités d'extrapolation des observations expérimentales aux différentes échelles d'espace et de temps concernées. A ce titre, l'IRSN rappelle, comme indiqué dans son avis DSU/2009-166 du 22 décembre 2009, qu'en fonction de l'emplacement qui sera retenu pour le stockage dans la ZIRA, la profondeur du niveau médian du Callovo-Oxfordien dans lequel sera implanté le stockage pourrait dépasser 490 m. L'ampleur de l'endommagement risquant de croître avec la profondeur, il sera alors indispensable de s'appuyer sur des modèles numériques valides par rapport aux observations in situ pour préciser cet endommagement et déterminer s'il nécessite une adaptation des concepts retenus dans le Dossier 2009. À cet égard, l'IRSN estime que le positionnement de la partie souterraine du stockage au milieu de la formation hôte est pertinent sous réserve qu'il soit possible d'y réaliser un scellement efficace des ouvrages (cf. paragraphe 6.2.1.2.1).

En conclusion, l'IRSN constate que l'état des connaissances relatives à la zone endommagée liée à l'excavation des ouvrages est encore parcellaire et estime qu'en l'absence de progrès suffisants réalisés d'ici 2015, il conviendrait que l'Andra retienne, dans l'évaluation de sûreté qui sera présentée dans le dossier accompagnant la DAC, l'approche prudente présentée dans le Dossier 2005 qui consiste à considérer une

zone endommagée non cicatrisée. De plus, l'IRSN souligne que la réalisation de démonstrateurs reste nécessaire pour faire progresser cet état de connaissances.

#### *Influence des techniques de creusement*

L'Andra indique ([6] complété de la lettre DMR/DIR/10-0084 transmise au cours de l'instruction) que différentes techniques de creusement ont été utilisées lors de la construction du laboratoire souterrain, notamment la foration-tir utilisée pour le creusement des puits et de la galerie expérimentale à -445 m, le brise-roche hydraulique (BRH) utilisé dans les galeries à -490 m ainsi que la machine à attaque ponctuelle (MAP) et le micro-tunnelier actuellement en cours d'expérimentation. L'Andra précise (cf. lettre DMR/DIR/10-0084 précitée) qu'après avoir abattu les toutes premières volées par foration-tir à la base du puits auxiliaire du laboratoire, un abattage mécanique a été préféré car, notamment dans la perspective de travailler simultanément sur deux fronts de creusement, cette méthode ne nécessitait ni de protéger les engins et équipements installés à l'avancement, ni d'évacuer le personnel pendant les tirs et l'évacuation des fumées. L'IRSN estime de plus que la méthode par foration-tir serait également moins indiquée du point de vue de l'extension de la zone endommagée occasionnée à la roche, en particulier dans la formation hôte.

L'Andra indique [2] que « *des tunneliers pourraient être utilisés pour le creusement de la descenderie* » mais que ceux-ci devraient vraisemblablement être adaptés « *pour pouvoir poursuivre le creusement dans les argilites, en tenant compte de la convergence de ces terrains* ». L'IRSN estime que l'utilisation d'un tunnelier est *a priori* favorable à la limitation de la zone endommagée autour des ouvrages mais souligne qu'effectivement, la faisabilité de la mise en œuvre de cette méthode de creusement dans les argilites n'est à ce stade pas acquise notamment pour ce qui concerne (i) les efforts de serrage susceptibles d'être exercés rapidement sur les outils de coupe par la roche et les conséquences que ceci pourrait avoir en cas d'arrêt prolongé du tunnelier ; (ii) la possibilité de différer la pose du revêtement par rapport à celle du soutènement comme envisagé pour les galeries dans le Dossier 2005, et notamment un revêtement en béton d'épaisseur métrique dans le Callovo-Oxfordien ; (iii) la possibilité de faire varier la section excavée ou l'épaisseur du revêtement/soutènement au droit des tronçons appelés à recevoir un scellement ou à mesure qu'augmente la profondeur<sup>23</sup> ; (iv) la méthode de reconnaissance à l'avancement, le cas échéant ; (v) la gestion des opérations de maintenance (et à terme le démontage du tunnelier) ainsi que celle d'un important volume de déblais. En conséquence, l'IRSN estime que la possibilité d'utiliser des tunneliers pour la construction de certains ouvrages du stockage est intéressante du point de vue de la minimisation de l'endommagement mais nécessite une étude de faisabilité qui pourrait demander des éléments de démonstration *in situ*.

Pour ce qui concerne le creusement des galeries, l'IRSN note que la technique d'abattage de référence (machine à attaque ponctuelle) est actuellement en cours d'expérimentation au laboratoire souterrain de MHM.

Pour ce qui concerne la construction des alvéoles de déchets MAVL, par rapport au Dossier 2005 où ils avaient un diamètre excavé de 10 à 12 m réalisé en deux demi-sections, l'Andra indique [2] maintenant un « *diamètre excavé de 8 à 9 mètres dans sa partie utile* » et « *un creusement par machine à attaque ponctuelle [...] en pleine section* ». L'IRSN note donc une évolution favorable visant à limiter l'extension de la zone endommagée autour de la partie utile de l'ouvrage. Cependant, l'Andra a indiqué au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0079) que la géométrie de la cellule de manutention située en tête d'alvéole n'est actuellement pas figée et pourrait atteindre jusqu'à 12 à 13 m de diamètre excavé réalisé vraisemblablement en sections divisées, dans le cas d'une manutention avec pré-empilage à l'aide d'un pont roulant ; pour la solution de pré-empilage avec portique ainsi

---

<sup>23</sup> Le Dossier 2005 (Tome Architecture et gestion du stockage géologique) indiquait pour les puits : « *Au stade actuel des études, l'épaisseur du revêtement en béton est de 45 à 50 cm dans les terrains situés au-dessus du Callovo-Oxfordien ; elle est de 1,35 m dans le Callovo-Oxfordien, hors renforcement local au niveau de la recette du puits* »

que pour des solutions de mise en place individuelle des colis, la réalisation de la cellule de manutention ne poserait pas de difficultés particulières. L'Andra indique [6] que « *la réalisation des galeries souterraines du stockage dans le niveau d'implantation pourrait débiter à l'horizon 2022, après la réalisation des liaisons jour-fond* » et envisage « *de tester la réalisation du radier et de la chambre interne [de l'alvéole MAVL], de qualifier les tolérances d'exécution et de tester la mise en place du système d'instrumentation* » au laboratoire souterrain au-delà de 2015. En revanche, la réalisation d'ouvrages de diamètres identiques à ceux envisagés pour l'alvéole MAVL n'est pas envisagée par l'Andra au laboratoire souterrain parce que le gabarit d'accès au laboratoire souterrain limite la taille des engins de creusement et les volumes excavés [6]. Aussi, l'IRSN constate que la réalisation d'un véritable démonstrateur à l'échelle 1 d'un alvéole MAVL n'est pas envisagée dans la configuration actuelle du laboratoire souterrain. À cet égard, l'Andra a précisé au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0084) que « *les galeries courantes du laboratoire présentent des diamètres excavés de l'ordre de 5 m [...] et sont depuis fin 2009 réalisées à la machine à attaque ponctuelle (MAP). L'Andra considère que les enseignements tirés de la construction des galeries du laboratoire pourront être extrapolés aux ouvrages du stockage, galeries ou alvéoles MAVL, dont le diamètre excavé sera de l'ordre de 8 ou 9 mètres. Le bien fondé de cette extrapolation est justifié par la reconduction de la méthode de creusement (MAP en pleine section) et par l'homogénéité du terrain, peu sensible aux effets d'échelle. L'Andra devrait par ailleurs bénéficier des observations qui seront faites dans le futur, notamment dans les galeries GCS et GCR [qui] seront réalisées selon un protocole expérimental particulièrement adapté à l'acquisition de connaissances géotechniques [et] apporteront par conséquent des connaissances nouvelles sur le comportement du terrain et sur les modes de soutènement/revêtement (souple pour GCS et rigide pour GCR)* ». L'IRSN rappelle néanmoins que le GPD a recommandé en 2005 « *la réalisation de démonstrateurs d'ouvrages de stockage dans le laboratoire souterrain* » et que cette démarche est mise en œuvre dans d'autres pays (« *Prototype Repository Project* »<sup>24</sup> à Äspö en Suède, « *Test Cavity* »<sup>25</sup> à Rokkasho-Mura au Japon). En outre, l'IRSN estime qu'une extrapolation du comportement constaté de la roche au creusement d'une cavité de 5 m de diamètre à un diamètre supérieur nécessite de parfaire les modèles numériques permettant de reproduire ce comportement, comme indiqué précédemment. L'IRSN constate donc que les dimensions du laboratoire souterrain limitent la taille des essais réalisables empêchant ainsi la réalisation de démonstrateurs à l'échelle 1 d'ouvrages de grande dimension, mais estime néanmoins qu'il conviendra de réaliser de tels démonstrateurs avant la construction d'alvéoles MAVL destinées à recevoir des colis.

Pour ce qui concerne le creusement des alvéoles HA, l'Andra retient [8] l'utilisation d'un micro-tunnelier. Ces alvéoles « *sont creusées par une foreuse « pousse-tube » prenant appui dans la galerie (ancrage au sol et/ou en butée sur le parement en vis-à-vis). Le chemisage joue le rôle de tube de poussée [...]. La tête de foration découpe le terrain grâce à un outil à dents en rotation [...]. Le chemisage est équipé d'un sabot du type « trousse coupante » facilitant la collecte des déblais et permettant de compléter la découpe si besoin* ». En fin de creusement, « *cette trousse coupante est abandonnée dans le terrain [alors que] l'outil de coupe est extrait* » grâce au « *pivotement des dents externes* » de l'outil (cf. Figure 22).

<sup>24</sup> « *Full-Scale Testing of the KBS-3V Concept for the Geological Disposal of High-Level Radioactive Waste* », Final report, 2005, EUR 21924. Essai démarré en 1998 et installé en 2003 pour suivre des expérimentations sur 10 à 20 ans.

<sup>25</sup> Section de 18 m x 16 m réalisée en 2006.

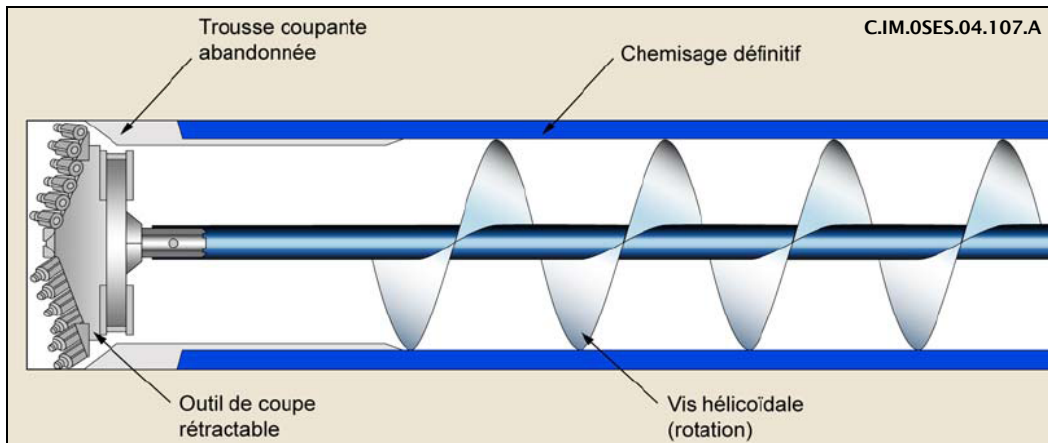


Figure 22 : Outil de coupe, trousse coupante et train de tige [8]

L'Andra a précisé au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0084) que des essais de creusement d'alvéoles HA ont été réalisés en 2009 dans le laboratoire souterrain (2 chemisés et 1 non chemisé, longueur de 20 m) et ont conduit à des améliorations de l'outil et du mode opératoire. Suite à ces améliorations, un alvéole chemisé de 40 m de longueur et un non chemisé de 20 m de longueur ont été creusés en mai 2010 ; l'IRSN note cependant que « le diamètre du trou excavé est de 740 mm pour un diamètre externe du chemisage de 700 mm », soit un espace annulaire entre le chemisage et la roche de 20 mm au rayon alors que le Dossier 2005<sup>26</sup> prévoyait un « espace annulaire [...] entre le chemisage et le terrain [compris] entre 0 et 12,5 mm au rayon » sur la base d'« un retour d'expérience prudent de chantiers de creusement par micro-tunnelier ». L'IRSN constate que le creusement des alvéoles HA par micro-tunnelier, actuellement en cours d'essais au laboratoire souterrain de MHM, nécessite des adaptations aux réalités du terrain. L'IRSN estime que ces difficultés sont une illustration supplémentaire de la nécessité d'une étude de faisabilité préalable à l'utilisation de grands tunneliers dans les argilites du Callovo-Oxfordien.

Pour ce qui concerne le creusement des puits d'accès du futur stockage, l'Andra a précisé (cf. lettre DMR/DIR/10-0079 transmise au cours de l'instruction) qu'à ce stade des études, les mêmes techniques que celles utilisées lors du fonçage des puits du laboratoire souterrain sont envisagées : réalisation d'un avant-puits de quelques dizaines de mètres dans les calcaires du Barrois et poursuite du creusement « par foration/tir à l'explosif, voire par des techniques d'abattage mécanique ». La lettre précitée indique qu'« au passage de l'interface entre les calcaires de l'Oxfordien et les argilites du Callovo-Oxfordien, un bulbe d'étanchéité est construit pour empêcher la circulation de l'eau à l'extrados du revêtement béton, et sa pénétration dans la formation hôte » mais ne précise pas si la méthode de foration-tir sera poursuivie au-delà de cette interface. L'IRSN note que l'Andra n'écarte pas totalement les techniques d'abattage mécanique et estime que celles-ci, notamment l'attaque ponctuelle, seraient particulièrement souhaitables une fois entré dans la formation hôte afin de limiter le plus possible l'extension de l'EDZ. L'IRSN ajoute que dans le but d'améliorer l'étanchéité du bulbe mentionné par l'Andra à l'interface entre les calcaires de l'Oxfordien et les argilites du Callovo-Oxfordien, cette technique d'abattage mécanique devrait être mise en œuvre dès l'approche de cette interface.

<sup>26</sup>« Conception, construction et fermeture d'alvéoles de stockage de déchets vitrifiés et de combustibles usés en formation argileuse profonde », C.NT.ASTE.04.0511.B, p.21/101

En outre, l'IRSN constate que l'Andra ne présente pas, pour chacune des méthodes de creusement utilisées en galeries (brise-roche hydraulique jusqu'en 2010 et machine à attaque ponctuelle actuellement) d'éléments d'appréciation (i) des cadences de creusement, (ii) de la qualité (géométrique) des ouvrages et (iii) de l'ampleur de l'endommagement du Callovo-Oxfordien.

E17.1 | Aussi, compte-tenu des éléments présentés ci-avant, l'IRSN considère que l'Andra devra présenter, dans le dossier accompagnant la DAC, une analyse comparative des techniques de creusement intégrant notamment le retour d'expérience issu du laboratoire souterrain et justifier, sur cette base, celles qui seront retenues pour le creusement des ouvrages du futur stockage.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

Enfin, ainsi qu'indiqué au paragraphe 4.1.3 et schématisé sur les Figure 7 à Figure 9, certaines galeries du stockage pourraient se superposer au droit de différents croisements. L'Andra a précisé au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0079) que « *les croisements sur 2 niveaux sont des ouvrages relativement peu fréquents (une dizaine dans l'architecture actuelle), et toujours situés à distance des déchets (la distance la plus courte entre un tel croisement et une alvéole de stockage est de 250 mètres). Leur configuration précise reste à définir. La référence actuelle prévoit une épaisseur de terrain d'environ 10 mètres entre les 2 galeries, cette épaisseur pourrait être réduite lors d'études d'optimisation* ». Concernant la validité des simulations numériques qui pourraient être réalisées pour estimer l'extension et l'évolution différée de la zone endommagée autour de ces croisements, l'Andra indique (cf. lettre DMR/DIR/10-0079) que « *dans le laboratoire souterrain, le suivi de certains ouvrages positionnés dans un contexte « complexe » au sein de la zone expérimentale a permis de confronter les résultats des simulations numériques relatives à l'extension des zones endommagées avec les observations de terrain* ». Enfin, la lettre précitée indique qu'« *un essai à échelle 1 ne semble pas nécessaire compte tenu de ce qui précède* ». L'IRSN rappelle que l'extension de la zone endommagée observée au laboratoire souterrain à -490 m dans la zone du « pilier » atteint 1 à 2 R et ne semble pas clairement reproduite par la simulation numérique. Dans ces conditions, l'IRSN estime que le croisement de galeries d'environ 10 m de diamètre, verticalement espacées d'une dizaine de mètres et susceptibles de s'entourer d'une zone endommagée d'1 à 2 R pourrait conduire, au droit du croisement, à la formation d'une zone endommagée ou excavée de plusieurs dizaines de mètres de haut. L'IRSN rappelle également (cf. paragraphe 6.2.2.2) que les dimensions des ouvrages expérimentés au laboratoire souterrain sont inférieures à celles envisagées dans le futur stockage.

E15.5 | Aussi, l'IRSN considère que l'Andra devra préciser, dans le dossier accompagnant la DAC, le mode de croisement de galeries et son dimensionnement et vérifier leur adéquation avec les exigences de sûreté en phase de post-fermeture.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

### 6.2.1.2.3 Comportement différé de la roche hôte

Le Dossier 2005 présentait une étude du comportement différé des argilites découpé en différents mécanismes, notamment viscoplasticité et hydromécanique (saturé et désaturé). L'examen du Dossier 2009 par l'IRSN porte tout d'abord sur ces mécanismes (en tenant compte de la thermique), puis sur leur couplage.

#### *Viscoplasticité*

L'Andra indique [6] que le suivi sur deux à trois ans des déformations autour des premières galeries expérimentales montre un ralentissement de la vitesse de déformation d'un facteur 10 entre 7 et 20 mois après le creusement et précise qu'« *en dehors de l'EDZ, les vitesses de déformation sont comparables à celles mesurées lors d'essais de fluage sur échantillons* ». L'IRSN estime que cet élément conforte la validité des modèles viscoplastiques, tout en

soulignant néanmoins que le comportement différé des argilites ne se limite pas à la viscoplasticité, et que l'apparition de l'EDZ ainsi que l'exiguïté du laboratoire souterrain (interférences entre ouvrages) ont compliqué l'interprétation des résultats. L'IRSN constate donc que la validité des modèles viscoplastiques ne semble pas remise en cause mais que l'acquisition des paramètres n'a pas pu être réalisée dans de bonnes conditions sur les premières galeries expérimentales du laboratoire souterrain de MHM. Cette acquisition est reportée à la réalisation de nouvelles galeries (expériences GCS et GCR) qui vient de débiter dans le laboratoire souterrain.

#### *Couplages hydromécanique et thermo-hydromécanique*

L'Andra indique [1] que malgré les progrès accomplis depuis 2005, des incertitudes subsistent notamment sur les comportements hydromécanique des alvéoles MAVL et thermo-hydromécanique des alvéoles HA.

Pour ce qui concerne le comportement hydromécanique, l'Andra indique [6] que les galeries de conception « souple » et « rigide » (expérimentations GCS et GCR mentionnées ci-dessus) seront réalisées sur la période 2010-2012 afin de conforter les modèles et « de préciser les distances d'influence entre galeries pour 2015 ». L'IRSN s'est interrogé sur le retour d'expérience acquis sur ce thème au laboratoire souterrain ainsi que sur l'aptitude actuelle des modèles à reproduire les observations. L'Andra précise (cf. lettre DMR/DIR/10-0084 transmise au cours de l'instruction) que les creusements successifs d'ouvrages réalisés au laboratoire souterrain « ont mis en évidence des réponses hydrauliques instantanées liées aux déformations volumiques du terrain [...]. Dans le cadre de l'expérimentation REP et du projet européen associé MODEX-REP, des modélisations du comportement HM [hydromécanique] de l'argilite lors du creusement du puits d'accès principal ont été réalisées. Les modélisations interprétatives ont montré que la plupart des modèles reproduisaient les tendances observées au cours du temps en terme de pression interstitielle (surpression et chute de pression interstitielle), mais que les amplitudes des variations n'étaient pas toujours bien reproduites. Des modélisations similaires ont été et seront réalisées pour prédire, puis interpréter les expérimentations de mines-by-test (expérimentation OHZ) prévues lors du creusement des galeries GCS (en 2010) et GCR (en 2011) ». L'IRSN convient que, du fait de la complexité du couplage hydromécanique manifesté par les argilites du Callovo-Oxfordien, sa modélisation est difficile. L'IRSN constate que les premières comparaisons calculs/expériences réalisées *in situ* n'ont pas donné toute satisfaction mais note que des expériences plus spécifiques sont prévues d'ici 2015. L'IRSN considère que ces nouvelles expériences devraient permettre un progrès dans la modélisation numérique du comportement hydromécanique des argilites. Au stade actuel, l'IRSN estime que l'extrapolation des résultats des expérimentations GCS et GCR à d'autres ouvrages de dimensions sensiblement supérieures devrait rester limitée.

Pour ce qui concerne le couplage thermo-hydromécanique, l'Andra rappelle [6] [15] que l'expérimentation TER<sup>27</sup> s'est déroulée de 2005 à 2008 et qu'elle a montré un couplage thermo-hydromécanique complexe avec superposition de deux phénomènes : (i) dilatation thermique et (ii) déformations induites dans la zone non encore chauffée par la dilatation thermique de la zone chauffée. L'IRSN constate que le coefficient de pressurisation thermique<sup>28</sup> des argilites (de 0,168 à 0,3 MPa/°C) [15] conduit à des surpressions d'eau de 8 à 15 MPa pour un échauffement  $\Delta T$  de 50°C, ce qui pour une eau initialement à 5 MPa n'est pas négligeable. L'Andra indique [6] qu'« une nouvelle expérimentation [TED<sup>29</sup>] est conçue pour apporter des données complémentaires (dilatation thermique, dilatation différentielle de l'eau interstitielle, module et coefficient de Biot en température) à la compréhension des effets couplés et à la validation des modèles utilisés pour les simulations. [...] Les résultats sont attendus pour le dossier support à la demande d'autorisation de création du stockage en 2015 ». L'Andra a

<sup>27</sup> TER : étude de la réponse des argilites aux sollicitations thermiques

<sup>28</sup> Rapport entre les variations de pression de pore et de température :  $\Lambda = \Delta P / \Delta T$

<sup>29</sup> « Expérience thermique numéro deux » comportant un forage central mis en chauffe en 2009 et deux forages périphériques qui seront mis en chauffe en 2011 ; elle permettra de suivre, en plus de la température, l'endommagement de la roche hôte.



précisé au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0084) qu'« une modélisation THM de l'expérimentation [TED] a été réalisée pour analyser l'essai in fine, de manière similaire à ce qui a été fait pour TER ». Concernant l'aptitude actuelle des modèles thermo-hydrromécaniques à reproduire les observations, la lettre précitée indique que les résultats du « comportement THM [thermo-hydrromécanique] observé lors de l'expérimentation TER et les simulations associées, devraient être publiés en 2010 et 2011. [Ils] montreront que les modèles numériques (sans endommagement de la perméabilité) permettent de bien reproduire les tendances observées in situ » et cite [Jia, 2009] « qui présente une modélisation du début de la phase de chauffe de l'essai TER ». L'IRSN observe que [Jia, 2009] montre que les variations de pression de pore sont principalement corrélées aux variations de température (ce qui conforte la notion de coefficient de pressurisation thermique évoquée ci-dessus) et que le chargement thermique accentue le couplage hydrromécanique de la roche. L'IRSN considère que les résultats de ces simulations numériques sont satisfaisants pour ce qui concerne la reproduction des variations de température et de pression de pore, mais note des écarts plus importants pour ce qui concerne les déformations de la roche, où seule la tendance qualitative générale est convenablement reproduite. L'IRSN estime que des progrès sont encore nécessaires pour arriver à une modélisation thermo-hydrromécanique satisfaisante. Enfin, suite à une interrogation de l'IRSN sur l'effet du chargement thermomécanique sur la zone endommagée ainsi que sur l'extension des interactions THM entre ouvrages, l'Andra a indiqué (cf. lettre DMR/DIR/10-0084 précitée) que « l'expérimentation TER ne permet pas de conclure sur l'interaction THM entre ouvrages. L'expérimentation TED où l'on s'intéresse à l'impact de la superposition de champs thermiques avec plusieurs sondes chauffantes permettra d'étudier ce point. La phase de chauffe a débuté en janvier 2010 et devrait se poursuivre jusqu'en janvier 2012. A partir de cette date des éléments sur l'interaction THM auront été acquis et permettront de définir l'interaction entre les ouvrages ».

#### *Couplage hydrromécanique / viscoplasticité*

Dans son examen du Dossier 2005, l'IRSN soulignait (cf. rapport DSU n°106) la nécessité de coupler *in fine* les phénomènes de viscoplasticité et d'hydrromécanique, et s'interrogeait sur les conséquences de ce mécanisme, notamment « la possibilité de créer un gradient hydraulique supplémentaire sous l'effet du comportement différé de la roche et des ouvrages ». Cette possibilité a été évoquée par [Kazmierczak, 2007] pour expliquer une faible surpression hydraulique de 0,1 MPa observée *in situ* au laboratoire souterrain de MHM dans une chambre de mesure quasi-fermée. L'Andra précise (cf. lettre DMR/DIR/10-0084 transmise au cours de l'instruction) que cette étude souligne « que les déformations différées sont suffisamment lentes au regard de la diffusivité de pression dans l'argillite et que la pression dans la chambre ne peut augmenter que faiblement (moins de 5 %) et de façon transitoire sur quelques mois. Cette étude montre qu'à l'échelle du stockage pour générer des gradients hydrauliques après fermeture il faudrait un volume d'eau incompressible, or les différents composants du stockage permettront une compressibilité suffisante pour limiter les pressions locales. Par ailleurs, les simulations numériques ont montré que pour les vitesses de déformations mesurées actuellement dans le laboratoire souterrain ( $10^{-11} s^{-1}$ ), il n'y pas de surpression générée ». L'IRSN partage cette conclusion de l'Andra relative au caractère peu probable d'une surpression hydraulique significative par simple fluage de la roche.

Cependant, l'IRSN indique qu'en cas de rupture brutale du revêtement d'un ouvrage pendant la phase de post-fermeture, le transfert instantané de la pression de soutènement de celui-ci à l'eau interstitielle pourrait créer une surpression hydraulique locale dans l'ouvrage qui devrait ensuite se dissiper par diffusion vers la roche. L'IRSN estime que ce mécanisme devrait être étudié (numériquement ou sur maquettes) afin d'en préciser les effets et de spécifier des paramètres tels que le taux de vide maximal admissible dans les ouvrages remblayés ou le degré de compaction des remblais.

Enfin, l'IRSN estime que des modélisations couplant hydrromécanique et viscoplasticité sont nécessaires afin de préciser les conditions d'environnement des ouvrages souterrains en situation réelle (pression d'eau, état de

contrainte...) et de concevoir des essais représentatifs. Ce point est repris au paragraphe 6.2.2.2 du présent rapport relatif aux scellements.

#### *Effets mécaniques des gaz*

Les gaz, en particulier l'hydrogène, produits dans les alvéoles HA et MAVL pourraient engendrer une surpression liée à leur accumulation et contribuer à la fracturation des matériaux ou à l'ouverture d'interfaces entre composants. L'Andra conclut [15], sur la base de différentes expérimentations réalisées sur échantillons, qu'« *en cas de fracturation du milieu par une augmentation brutale de pression de gaz, le processus d'endommagement semble réversible et la perméabilité à l'eau revient à des valeurs proches de la valeur qu'elle avait avant la sollicitation au gaz [;] les pressions d'entrée de gaz obtenues sur un échantillon fissuré et resaturé en eau sont du même ordre de grandeur que celles obtenues sur un échantillon intact, mettant ainsi en évidence une forme de cicatrisation de l'argilite* ». L'Andra mentionne toutefois des effets irréversibles de la fracturation sur les propriétés de transport des gaz en indiquant [15] qu'« *il est probable que [les courbes de perméabilité au gaz en fonction de la saturation] soient fortement modifiées si la mémoire des fissures présentes dans le matériau demeure et qu'il y a une réouverture avec la diminution de la saturation* ». A cet égard, l'IRSN souligne que les expériences SELFRAC [Bastiaens, 2007] et RESEAL [Volckaert, 2000] (cf. paragraphe 6.2.1.2.2 du présent rapport) menées sur les argilites de Mol et du Mont Terri, ont montré le caractère irréversible de la fracturation au gaz sur ces argilites, en termes de continuité des propriétés mécaniques de la roche, malgré un certain degré d'auto-colmatage (« self-sealing ») permettant de retrouver une perméabilité à l'eau équivalente à celle des roches saines. L'IRSN constate donc que le caractère « réversible » de la fracturation au gaz dépend des propriétés étudiées (hydrauliques, mécaniques...) et probablement de la roche elle-même.

Par ailleurs, sur la base de résultats expérimentaux, l'Andra indique [1], qu'« *aucun cas de sur-fracturation n'a été mis en évidence* » sur la zone déjà endommagée par le creusement des ouvrages ; l'Andra précise que l'hydrogène passe préférentiellement par les zones désaturées à l'intérieur des ouvrages ainsi que le long des interfaces. L'IRSN constate néanmoins que les pressions de gaz mises en œuvre dans les expérimentations<sup>30</sup> menées par l'Andra [15] sont inférieures (6,4 MPa) à celles calculées aujourd'hui dans un stockage (7 à 8,3 MPa selon [MOMAS, 2008] et [Boulin, 2008]). Aussi, l'IRSN considère qu'une possibilité de sur-fracturation par le gaz des argilites endommagées par le creusement n'est pas encore totalement écartée à ce stade mais estime que l'incertitude majeure réside dans le comportement des interfaces (cf. paragraphe 6.2.2.1 du présent rapport).

#### **6.2.1.3 Transitoires hydriques et devenir des gaz**

La mise à la pression atmosphérique des argilites du Callovo-Oxfordien lors du creusement des galeries et des alvéoles entraîne une désaturation de la roche autour des ouvrages de stockage. Le processus de resaturation du Callovo-Oxfordien et des ouvrages est influencé par la température et par la présence de gaz, dont une partie reste dans les ouvrages en empruntant des chemins préférentiels le long des interfaces et des zones désaturées du stockage, ainsi qu'évoqué ci-dessus.

Afin d'estimer la durée du processus de resaturation et le devenir des gaz dans le stockage, l'Andra a présenté, dans le Dossier 2005, des simulations d'écoulement diphasique eau/gaz en milieu poreux à l'échelle des installations souterraines. Ces simulations mettaient en évidence les phases hydrauliques de resaturation et de désaturation suivantes : (i) des écoulements convergents (du Callovo-Oxfordien vers les alvéoles) durant quelques centaines d'années suite au processus de resaturation, (ii) des écoulements divergents vers le Callovo-Oxfordien et les galeries durant la phase de surpression hydraulique due à la génération des gaz (autour de 10 000 ans), (iii) des

<sup>30</sup> Valeurs maximales issues de [Boulin, 2008]

écoulements de nouveau convergents vers les alvéoles, suite à la dissipation de la surpression hydraulique, jusqu'à resaturation complète (autour de 200 000 ans), (iv) un équilibre hydrostatique atteint plusieurs dizaines de milliers d'années après la resaturation complète. Toutefois, ces simulations n'étaient basées que sur très peu de résultats expérimentaux disponibles et reflétaient un état des connaissances sur le sujet encore très préliminaire.

A l'issue de l'examen de ce dossier, l'ASN a indiqué qu'il était nécessaire que « *les résultats des modélisations de transfert de gaz in situ [... soient] validés [...] par des expériences in situ* ». Le GPD a recommandé plus précisément à l'Andra de « *compléter les données sur les perméabilités relatives à l'eau et au gaz par des mesures caractéristiques de la formation du Callovo-Oxfordien* » pour le dossier accompagnant la DAC. L'IRSN note qu'au stade du Dossier 2009, l'Andra présente [1] [15] l'état de ses connaissances concernant les différents mécanismes de transport de gaz et les paramètres associés, ces derniers étant acquis par le biais d'expérimentations sur des échantillons d'argilites ou *in situ* dans le laboratoire souterrain. L'IRSN relève ainsi que l'Andra a acquis depuis 2005 une quantité importante de données relatives au comportement des gaz dans les argilites saines et fracturées, mais considère que les paramètres et phénomènes présentés ci-dessous doivent encore faire l'objet d'une meilleure compréhension. Il s'agit :

- des phénomènes à l'origine de l'existence d'une « pression d'entrée de gaz »<sup>31</sup> dans les argilites ;
- de la perméabilité relative à l'eau et au gaz dans la roche saine et l'EDZ (l'Andra souligne [15] les difficultés méthodologiques associées à ce type de mesure) ;
- de la rétention capillaire pour un taux de saturation proche de 1 dont les valeurs sont à ce stade peu nombreuses<sup>32</sup> et présentent de forts écarts selon les méthodes d'acquisition ;
- du phénomène d'hystérésis des courbes de pression capillaire en fonction du taux de saturation, dont l'ampleur n'est pas encore quantifiée.

L'IRSN note que des expérimentations visant à réduire les incertitudes concernant la pression d'entrée de gaz, la perméabilité relative à l'eau et au gaz ainsi que les courbes de rétention capillaire sont en cours ou prévues par l'Andra et qu'elles doivent se terminer en 2012 (cf. lettre DMR/DIR/10-0084 transmise au cours de l'instruction). L'IRSN considère que l'Andra devrait donc être en mesure d'affiner la connaissance de ces paramètres et phénomènes en vue de leur intégration dans les simulations qu'elle prévoit de mener pour la DAC.

Par ailleurs, concernant la caractérisation de la migration de gaz via des microfissures pouvant être créées par la pression de gaz, l'Andra a indiqué, au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0084), qu'un programme expérimental est également en cours et que des premiers résultats seront disponibles dès 2010. Ceci est satisfaisant. L'IRSN rappelle néanmoins que ce programme devrait comprendre des expérimentations, réalisées sur des échantillons fracturés, visant à obtenir les courbes de perméabilité relative en fonction de la saturation en eau. En effet, ces expérimentations sont nécessaires pour améliorer la caractérisation des conditions de transfert de gaz dans l'EDZ, qui devrait « drainer » l'essentiel des quantités de gaz produites.

S'agissant de la resaturation à l'échelle du stockage, l'IRSN s'était interrogé, lors de l'examen du Dossier 2005 (cf. rapport DSU n°106) sur l'influence, à l'échelle du stockage, des processus hétérogènes<sup>33</sup> de resaturation et de retour à l'équilibre hydrostatique sur les écoulements d'eau et sur la migration des radionucléides (phénomène ne pouvant toujours pas être exclu, au stade actuel des connaissances, pendant la phase de transitoire hydraulique). L'Andra n'a néanmoins pas présenté, au cours de la présente instruction, d'éléments d'évaluation ni de démarche

<sup>31</sup> Valeur seuil minimale de pression nécessaire à la pénétration du gaz dans les argilites. Elle est estimée entre 1,3 et 3 MPa

<sup>32</sup> Seuls trois points de mesure sont disponibles sur la Figure 25-10 de [15], dans la gamme de saturation comprise entre 0,9 et 1 (correspondant au taux de saturation proche de la paroi)

<sup>33</sup> Le schéma hydraulique peut être gouverné par les gradients de charges dus à des zones plus rapidement resaturées que d'autres dans le stockage ou bien encore à des modifications locales de pressions hydriques liées aux phénomènes transitoires thermiques et de création de gaz

pour estimer les conséquences de ces processus. Aussi, l'IRSN considère que les incertitudes relatives à l'influence de ces processus hétérogènes de resaturation sur la sûreté à long terme du stockage persistent.

En conclusion, l'IRSN note que l'Andra a acquis un certain nombre de données relatives au transfert de gaz depuis 2005, mais que l'état des connaissances présente encore des incertitudes d'autant plus critiques que les phénomènes en jeu sont très sensibles aux variations des paramètres. L'IRSN observe cependant que les expérimentations prévues par l'Andra devraient lui permettre de lever un certain nombre de ces incertitudes d'ici la DAC.

E15.2 | L'IRSN considère que l'Andra devra évaluer, dans le dossier accompagnant la DAC, les incertitudes concernant le transfert de gaz et le processus de resaturation du stockage et préciser la manière dont elles sont prises en compte dans l'évaluation de sûreté de cette installation.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

#### 6.2.1.4 Transitoires thermiques

L'Andra avait présenté, dans le Dossier 2005, des modélisations de la charge thermique à différentes échelles (ouvrages, roche hôte, géosphère) afin notamment d'estimer l'influence des élévations de température sur la mécanique des roches et les écoulements de fluides. A l'issue de l'examen de ce dossier, l'IRSN estimait que l'Andra devait vérifier que les marges retenues pour le dimensionnement du stockage aux charges thermiques permettaient effectivement de respecter les critères thermiques visés, en tenant compte des incertitudes sur les propriétés thermiques des composants et en particulier sur la conductivité thermique de la formation hôte.

L'IRSN note que dans le laboratoire souterrain, l'expérimentation TER (évoquée au paragraphe 6.2.1.2.3 du présent rapport relatif aux couplages thermo-hydrromécaniques) a permis d'acquérir un certain nombre de données concernant les propriétés thermiques du Callovo-Oxfordien et que l'expérimentation TED devrait contribuer à améliorer ces connaissances. En outre, de nouvelles mesures de conductivité thermique ont été acquises depuis 2005 par l'Andra dans la partie Nord de la zone de transposition, sur des échantillons provenant de trois nouveaux forages<sup>34</sup> [15]. L'IRSN estime par conséquent que les incertitudes relatives à la conductivité thermique de la formation hôte, paramètre le plus influent sur l'évolution du champ thermique autour des colis, devraient pouvoir être réduites en vue de l'élaboration du dossier accompagnant la DAC, ce qui permettra à l'Andra d'être en mesure de préciser le dimensionnement des installations souterraines de stockage aux charges thermiques.

#### 6.2.1.5 Perturbations chimiques

La roche hôte est susceptible d'évoluer localement du fait de perturbations chimiques induites par la présence de gaz (hydrogène produit par radiolyse ou corrosion, oxygène piégé durant la période d'exploitation), des colis de déchets (produits de dégradation des déchets MAVL) et des autres composants de l'installation de stockage (aciers et bétons notamment). Dans le Dossier 2005, l'Andra présentait les connaissances relatives à ces perturbations et leurs conséquences sur les propriétés de confinement de l'argilite, ce qui avait notamment permis de mettre en évidence l'altération modérée induite par les perturbations oxydante et radiolytique sur les argiles en comparaison de celles induites par la présence de matériaux métalliques et cimentaires. Il ressortait que les propriétés chimiques et hydrauliques (« capacité tampon ») des argilites du Callovo-Oxfordien limitaient la progression de ces perturbations à une échelle locale autour des ouvrages de stockage. A l'issue de l'examen de ce dossier, l'IRSN considérait (cf. rapport DSU n°106) que la description par l'Andra des perturbations chimiques et de leurs conséquences était vraisemblable, mais soulignait néanmoins d'une part qu'il restait difficile d'évaluer ces

<sup>34</sup> Forages EST413, EST423 et EST433

conséquences de façon quantitative, et d'autre part que des incertitudes demeuraient pour ce qui concerne l'extension de la perturbation alcaline (possible contrôle cinétique des processus réactionnels, valeur du coefficient de diffusion effectif et influence d'hétérogénéités sur la propagation de la perturbation chimique). Par ailleurs, l'IRSN indiquait que l'Andra devrait estimer l'influence des produits de dégradation des déchets MAVL sur les propriétés physico-chimiques des argiles, *a minima* de façon qualitative.

L'IRSN constate que l'Andra n'a pas présenté d'actualisation de ces connaissances au stade du Dossier 2009. Cependant, l'Andra a présenté au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0084) le programme d'études menées en vue d'une actualisation des « Référentiels Matériaux » en 2012. Les études en cours concernent les perturbations induites par (i) les produits de dégradation des déchets MAVL, (ii) l'oxygène, (iii) les matériaux cimentaires et les matériaux métalliques, (iv) les microorganismes. Elles combinent d'une part, des expériences en laboratoire de surface et en conditions *in situ* (au laboratoire souterrain de MHM et au Mont Terri en Suisse) et d'autre part, des simulations couplées chimie-transport. Par ailleurs, l'Andra indique [6] qu'elle mène également une expérimentation en conditions *in situ* au Mont Terri en Suisse pour ce qui concerne la perturbation chimique induite par la migration d'hydrogène. Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

### 6.2.2 LES BARRIERES OUVRAGEES ARGILEUSES

Dans le présent chapitre, les « barrières ouvragées argileuses » désignent les bouchons des alvéoles de stockage de déchets HA ainsi que les ouvrages de scellement (galeries d'accès aux alvéoles de stockage de déchets MAVL, galeries de liaison et liaisons jour-fond). L'Andra indique [1] que ces barrières ouvragées argileuses participent aux fonctions de sûreté « *s'opposer à la circulation d'eau* » et « *retarder et atténuer la migration des radionucléides* » ; les bouchons des alvéoles HA participent également à la fonction « *limiter le relâchement des radionucléides et les immobiliser dans le stockage* » en maintenant un environnement chimique favorable.

Bien qu'ayant des fonctions similaires, les bouchons d'alvéoles HA et les ouvrages de scellement présentent des différences notables (cf. paragraphe 4.1.3 du présent rapport) : les bouchons d'alvéoles HA sont de dimensions réduites (longueur 3 m, diamètre 70 cm) et sont soumis à des sollicitations thermo-hydro-mécaniques ; les ouvrages de scellement ont des dimensions plus importantes (longueur pluridécimétrique, diamètre allant jusque 14 m en puits) et une géométrie plus complexe pouvant comporter des saignées, mais sont soumis à des sollicitations thermiques moins importantes.

Dans le Dossier 2005, l'Andra présentait une évaluation de la capacité de confinement des scellements basée principalement sur des expériences telles que TSX<sup>35</sup> réalisée au laboratoire souterrain du Lac du Bonnet (Canada), EH et EDZ Cut-Off réalisées au Mont Terri (Suisse), le projet européen SELFRAC et des calculs analytiques simples montrant que la perméabilité globale des scellements pourrait être de l'ordre de  $10^{-11}$  m/s pour les puits et  $10^{-10}$  m/s pour les galeries.

Dans son avis du 1<sup>er</sup> février 2006, l'ASN note que des ordres de grandeur raisonnables des performances de confinement des scellements ont été estimés et demande en vue de la DAC :

- « *les performances des ouvrages de scellement devront être confirmées [...] par des expériences in situ* ». A cet égard, le GPD, dans son avis de décembre 2005, a estimé que ces expériences in situ devaient être réalisées « *en vraie grandeur* » ;
- « *les résultats des modélisations [des effets des gaz] sur les [bouchons et les] scellements devront être validés également par des expériences in situ* ».

<sup>35</sup> TSX : « *Tunnel Sealing Experiment* », essai de scellement réalisé en vraie grandeur dans un contexte granitique

Le GPD a également recommandé à l'Andra de « *préciser le dimensionnement [...] des ouvrages de scellement* » incluant les bouchons d'alvéole HA.

### 6.2.2.1 Bouchon d'alvéole HA

#### *Perturbations mécaniques / resaturation du bouchon*

L'Andra prévoit [1], ainsi que décrit au paragraphe 4.1.3 du présent rapport, de maintenir l'insert en tête d'alvéole HA après fermeture de l'alvéole. L'Andra mentionne [8] un certain nombre d'avantages liés à ce nouveau concept, en particulier, la faible longueur de l'insert (une dizaine de mètres) permet de le mettre en place avec un jeu annulaire aussi faible que possible, ce qui limite le développement de l'EDZ autour de la tête d'alvéole et minimise rapidement les échanges d'eau ou d'air entre la partie utile de l'alvéole et la galerie d'accès. Ce dernier point est examiné au paragraphe 5.2.1 du présent rapport relatif aux risques liés à l'évolution des matériaux. L'insert participe également au guidage de la mise en place du chemisage de l'alvéole pendant la phase de construction. Enfin, l'insert permet de découpler l'évolution mécanique (dilatation thermique, convergence géomécanique...) du chemisage de celle de la galerie d'accès. En outre, la présence de l'insert évite de spécifier la tenue mécanique du chemisage au champ de contraintes perturbé autour de la galerie d'accès et permet de limiter au seul insert une éventuelle surépaisseur d'acier.

En revanche, l'Andra signale [1] l'inconvénient suivant : le maintien de l'insert en tête d'alvéole « *induit une interface [argile gonflante/insert/roche] avec un composant métallique qui n'existait pas dans le Dossier 2005. Du fait de la présence de ce composant métallique, l'évolution à long terme de la nouvelle interface est l'objet d'indéterminations* ». L'Andra indique néanmoins que « *sur la base des conclusions du Dossier 2005, les fonctions hydrauliques du bouchon ne devraient pas être remises en cause [malgré sa nouvelle configuration] du fait d'une alvéole borgne et de conditions hydrauliques (diffusives dominantes) imposées par les scellements de galeries* ».

L'IRSN a bien noté les avantages apportés par l'insert en termes de limitation de la zone endommagée et de découplage du comportement mécanique et les estime pertinents. Cependant, l'IRSN s'interroge (i) sur le cheminement que devra suivre l'eau pour resaturer le bouchon d'argile mis en place dans un tubage quasi-fermé formé par le système chemisage-insert, (ii) sur la capacité du bouchon de béton à remplir sa fonction d'appui pour confiner le bouchon argileux malgré les sollicitations complexes (thermique, hydraulique et mécanique) appliquées sur l'interface béton/insert/roche et (iii) sur la capacité de confinement que pourra atteindre un bouchon argileux ainsi positionné dans l'insert.

Au cours de l'instruction, l'Andra a indiqué (cf. lettre DMR/DIR/10-0089) qu'en vue de la DAC, des études doivent être lancées, notamment sur « *la tête d'alvéole et plus particulièrement sur son obturation (longueurs des bouchons, nature des contacts bouchons/insert, etc.)* ». Pour ce qui concerne la première interrogation relative au cheminement de l'eau, l'Andra indique (cf. lettre DMR/DIR/10-0089 précitée) que « *dès la mise en place du bouchon argileux, en saturation passive, l'eau peut arriver par l'annulaire de quelques centimètres entre l'insert et le chemisage, et par les jonctions des tronçons de l'insert si celles-ci ne sont pas conçues pour être étanches. [...] Le temps estimé pour atteindre la saturation totale du bouchon d'argile est de l'ordre de quelques dizaines d'années à la centaine d'années, selon les spécifications de mise en œuvre de l'argile [i.e. densité, degré de saturation initial, mode de mise en place (blocs ou pellets), etc.]. Ce temps peut être inférieur ou supérieur au temps d'attente du remblaiement des galeries d'accès aux alvéoles (d'une dizaine d'années au plus tôt)* ». En outre, l'Andra ajoute que « *la mise en œuvre d'une saturation artificielle du bouchon d'argile et/ou la pose d'un insert crépiné par exemple sont des solutions envisageables. Le besoin d'accélérer le processus de saturation sera examiné lors de la définition des spécifications du bouchon d'alvéole HA. Il pourrait être nécessaire par exemple pour garantir un état de saturation totale du bouchon (i) au moment de la fermeture de la galerie ou (ii)*

*rapidement pour contribuer à limiter les échanges d'oxygène entre la galerie ouverte et la partie utile de l'alvéole. A ce stade, ces besoins n'apparaissent pas nécessaires ».*

Pour ce qui concerne la deuxième interrogation relative à la fonction d'appui du bouchon en béton, l'Andra prévoit d'étudier, d'ici la DAC (cf. lettre DMR/DIR/10-0089 précitée) « *la possibilité de mettre en place des dispositions de maintenance, de réparation et de renforcement du massif de béton afin de pouvoir maintenir son rôle d'appui jusqu'au remblaiement de la galerie d'accès* ». Elle précise que « *les dispositions constructives viseront à faire reprendre les efforts de gonflement soit par (i) le revêtement de la galerie, soit (ii) par appui sur la tête d'alvéole en vis-à-vis, soit (iii) par le remblai de la galerie. Les déplacements seront faibles dans les cas (i) et (ii). Ils seront plus importants dans le cas (iii). Les efforts et déplacements seront par ailleurs fonction du dosage en argile gonflante* ». L'IRSN note que l'Andra poursuit des études relatives au bouchon en béton d'alvéole HA, qui est encore en cours de développement.

Enfin, pour ce qui concerne la troisième interrogation relative à la capacité de confinement du bouchon argileux, l'IRSN estime que l'introduction d'une nouvelle interface entre le bouchon argileux et la roche (cf. également paragraphe 6.2.1.5 « perturbations chimiques » du présent rapport) remet en question le principe même du contact entre les deux composants sur lequel était fondée la stratégie de rétablissement d'une perméabilité globale faible du système de fermeture. L'IRSN estime que ce nouveau concept, en cours d'étude, présente des avantages mais qu'il conviendrait que l'Andra poursuive également la recherche de méthodes permettant une dépose au moins locale de l'insert permettant une mise en place du bouchon argileux au contact direct de la roche et approfondisse son analyse de l'impact sur la sûreté du retrait ou non de l'insert.

Par ailleurs, l'IRSN souligne que le comportement thermo-hydrromécanique de l'alvéole HA en général, et des différentes interfaces (colis/chemisage/roche, bentonite/insert/roche, béton/insert/roche) en particulier, est très complexe. En effet, les phénomènes suivants sont susceptibles d'apparaître : retrait induit par la prise du béton, dilatations thermiques différentielles, ovalisation du trou de l'alvéole, venues d'eau en température avec augmentation de pression interstitielle, déformation de l'insert due à la pression de gonflement, *etc.* Aussi, l'IRSN estime qu'un véritable essai de démonstration *in situ* sera nécessaire.

L'Andra indique [6] que sur la période 2011-2015, un essai de réalisation et de comportement d'un alvéole chemisé sur 40 mètres ainsi que d'une tête d'alvéole et d'un bouchon de fermeture sera réalisé. L'IRSN estime que cet essai est pertinent mais note que les tests de performance en vraie grandeur ne pourront être réalisés qu'après resaturation de l'argile gonflante ce qui, même avec un dispositif de resaturation artificielle, ne devrait pas permettre, à l'échéance de la DAC, de disposer des résultats de ces tests de performances. Néanmoins, lors de la réunion préparatoire tenue le 8 octobre 2010, l'Andra a précisé que ces résultats seront disponibles à l'échéance de la demande d'autorisation de mise en service industrielle. L'IRSN constate également que l'essai envisagé n'est pas chauffé et qu'il ne se fera donc pas dans les mêmes conditions thermo-hydrromécaniques que celles d'un véritable alvéole HA. Au cours de l'instruction, l'Andra a précisé (cf. lettre DMR/DIR/10-0084) que la phase 3 des essais « *alvéole HA* » comporte les deux essais suivants : le premier, destiné à « *observer les efforts thermomécaniques en paroi de galerie* » ainsi que le comportement du chemisage et de l'insert sous dilatation thermique, permettra en 2012 de reproduire le comportement thermo-hydrromécanique d'un alvéole ; le deuxième, destiné à « *tester les procédés d'obturation de la tête d'alvéole* » [6]. L'ensemble des résultats ne sera disponible que d'ici 2020 mais des données sur le comportement du chemisage pourront être obtenues pour la DAC.

Pour conclure, l'IRSN constate que le concept de la tête d'alvéole HA présenté par l'Andra au stade du dossier 2009 a récemment évolué et est encore en cours de développement. L'IRSN considère que les éléments de programme présentés ne pourront pas constituer un véritable démonstrateur *in situ* d'alvéole HA, mais qu'ils

contribueront à préciser son concept. Sa démonstration *in situ* complète, que l'IRSN estime nécessaire, prendra ensuite au moins une dizaine d'années. Cette conclusion contribue aux termes de l'engagement E15.3 ci-après.

#### *Transfert et effets des gaz*

Afin d'évaluer les effets des gaz sur les bouchons d'alvéole HA (et les scellements), l'Andra réalise des expérimentations sur échantillons et *in situ* dans le laboratoire souterrain. Pour l'ensemble des matériaux envisagés, des mesures sur échantillon de courbes de pression capillaire-saturation et de perméabilité relative au gaz et à l'eau, ainsi que des mesures de propriétés de transfert en température dans les bétons et les argilites ont été récemment acquises ou sont prévues d'ici 2012. Le transfert de gaz dans les zones d'interface argilite/béton, argilite/bentonite et argilite/métal est également en cours d'étude sur échantillons. L'IRSN constate que les incertitudes sur ces différents paramètres ainsi que sur le comportement des gaz aux interfaces devraient donc être réduites d'ici la DAC.

Pour ce qui concerne la validation *in situ* des résultats des modélisations des effets des gaz sur les [bouchons d'alvéole HA], demandée par l'ASN (cf. début du paragraphe 6.2.1.2 du présent rapport), les expérimentations de l'Andra dans le laboratoire visent à étudier, dans des forages de petit diamètre, l'effet des gaz sur la resaturation des bouchons en bentonite et leur interface directe avec l'argilite (expérimentation PGZ2, réalisée pour le dossier support à la DAC). L'IRSN estime que ces expérimentations devraient permettre de mieux appréhender les mécanismes de transfert de gaz dans un bouchon d'alvéole HA ainsi qu'au travers de l'interface entre le bouchon et la roche. Par ailleurs, l'IRSN note que l'Andra envisage de réaliser des essais complémentaires après 2015 sur un bouchon d'alvéole HA. Ceci n'appelle pas de commentaire.

#### *Perturbations chimiques*

Ainsi que décrit au chapitre 4.1.3, le bouchon d'alvéole HA en argile gonflante (3 m de longueur, environ 60 cm de diamètre) est à l'intérieur de l'insert métallique, placé entre un bouchon métallique (du côté des colis) et un bouchon en béton (du côté de la galerie d'accès). Les perturbations « fer/argile » et alcaline induites par ces matériaux métalliques et cimentaires sont susceptibles d'altérer les propriétés de confinement du bouchon argileux.

Dans le Dossier 2005, l'Andra indiquait que l'extension des zones de fortes transformations minéralogiques resterait limitée et la performance globale de confinement du bouchon argileux ne serait pas affectée. L'Andra ajoutait que le panache alcalin resterait localisé dans ce bouchon et dans les argilites et que par conséquent, les colis de déchets ne seraient pas affectés par une augmentation du pH environnant. L'IRSN, à l'issue de son examen (cf. rapport DSU n°106), avait conclu que le dimensionnement du bouchon argileux d'alvéole HA était compatible avec l'état des connaissances et avait souligné que ce dimensionnement présentait néanmoins peu de marge.

Comme indiqué précédemment, la configuration du bouchon argileux d'alvéole HA présentée dans le Dossier 2009 diffère de celle du Dossier 2005 notamment par l'insert métallique qui l'entoure. L'IRSN considère que le maintien de l'insert métallique pourrait créer une zone centimétrique reminéralisée due aux interactions fer/argile (formation de chlorite et d'illite notamment) en surface externe du bouchon argileux, sur toute sa longueur. En l'état actuel des connaissances, il est difficile d'apprécier l'évolution des propriétés hydrauliques de l'argile gonflante dues à ces modifications minéralogiques. La formation d'un chemin préférentiel pour le transport de radionucléides, qui pourrait affecter la performance globale de confinement du bouchon d'alvéole HA, ne peut néanmoins pas être exclue à ce stade.

L'IRSN estime par ailleurs que la nouvelle interface constituée par l'insert pourrait, selon le degré d'intégrité de cet insert, ne plus permettre à l'argilite d'absorber directement une partie de la perturbation alcaline due à la



présence du bouchon en béton. L'IRSN considère donc que la réserve alcaline que représente le bouchon en béton pourrait être « canalisée » vers le bouchon argileux, avec pour conséquences possibles i) des modifications minéralogiques sur une extension plus grande dans le bouchon et par conséquent une dégradation possible de la capacité globale de confinement de celui-ci et ii) une propagation du panache alcalin au-delà de celui-ci, dans la partie utile de l'alvéole contenant les colis de déchets. En outre, l'IRSN rappelle (cf. rapport DSU n°106) que le court-circuit d'une part importante de la masse d'argile gonflante considérée comme disponible pour absorber la perturbation alcaline (propagation hétérogène), à la faveur notamment des interfaces béton/insert/argilite et argile gonflante/insert/argilite, pourrait amplifier les conséquences mentionnées ci-avant en terme de performance globale de confinement du bouchon et d'environnement alcalin dans la partie utile de l'alvéole.

En tout état de cause, l'IRSN considère, comme en 2005, que le dimensionnement du bouchon argileux d'alvéole HA ne semble présenter que peu de marge quant à la capacité de cette barrière à absorber la perturbation alcaline sans conséquence sur ses performances de confinement et sur les conditions d'environnement chimique des colis de déchets. Par conséquent, l'IRSN estime que la recommandation du GPD relative au dimensionnement des ouvrages de scellement, et en l'occurrence du bouchon d'alvéole HA, reste d'actualité.

A cet égard, l'Andra a indiqué, par lettre DMR/DIR/10-0083 transmise au cours de l'instruction, que la longueur du bouchon d'alvéole HA sera réévaluée en vue de la DAC au regard des nouvelles connaissances apportées par les études en cours relatives aux interactions fer/argile et béton/argile (expériences *in situ* et modélisation couplée géochimie transport) ainsi qu'au comportement des interfaces. L'IRSN rappelle (cf. rapport DSU n°106) que la validité du dimensionnement doit être confirmée sur la base notamment d'essais *in situ*, à une échelle représentative des barrières, permettant une observation de leur comportement hydrique et mécanique et de leurs interfaces, afin de préciser les conditions d'environnement qui prévaudront pendant la phase initiale de développement des perturbations chimiques.

### *Conclusion*

En conclusion, l'introduction d'une nouvelle interface au niveau de la tête d'alvéole HA engendre une modification notable du concept de bouchon d'alvéole HA par rapport au Dossier 2005. Les performances de ce bouchon, après resaturation artificielle, ne seront disponibles que pour 2025, de même que l'effet de la perturbation thermique qui sera analysé à part. L'IRSN rappelle qu'un essai complet de démonstration *in situ* d'alvéole HA, soumis à des sollicitations thermo-hydrémécaniques identiques à celles des alvéoles dans le stockage, et sur la base d'un concept de tête d'alvéole fixé (retrait ou non de l'insert), est nécessaire et réalisable au laboratoire souterrain, compte tenu des dimensions limitées du concept d'alvéole HA envisagé par l'Andra. Cette démonstration *in situ* complète prendra au moins une dizaine d'années. Compte-tenu de l'échéance lointaine de la construction des alvéoles HA, l'IRSN convient que la démonstration *in situ* complète puisse encore être en cours en 2015, mais estime néanmoins que des éléments probants devront être présentés à l'échéance de la DAC.

E15.3

L'IRSN considère que l'Andra devra justifier, dans le dossier accompagnant la DAC, que la solution technique retenue pour le bouchon d'alvéole HA bénéficie de suffisamment d'éléments probants quant à sa faisabilité industrielle et est bien en adéquation avec les exigences de sûreté en phase d'exploitation et en phase de post-fermeture.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

### 6.2.2.2 Ouvrages de scellement

Pour les grands ouvrages, l'Andra indique [1] que les options de conception des scellements étudiées dans le Dossier 2005 sont inchangées. L'IRSN rappelle que dans le Dossier 2005, des dispositions particulières visant à minimiser l'endommagement autour des tronçons de galeries appelés à recevoir un scellement étaient envisagées et notamment, une limitation à 7,5 m du diamètre excavé (5,2 m de diamètre utile). L'IRSN s'est interrogé sur le maintien de ces dispositions dans le Dossier 2009 compte-tenu de l'augmentation générale à 9 m du diamètre excavé des galeries de liaison (cf. paragraphe 4.1.3). Au cours de la réunion préparatoire tenue le 8 octobre 2010, l'Andra a précisé que la limitation du diamètre excavé des tronçons de galeries appelés à recevoir un scellement était toujours envisagée mais que la limite exacte n'était plus fixée et dépasserait probablement les 7,5 m initialement envisagées. L'IRSN estime que cette augmentation probable du diamètre excavé des ouvrages appelés à recevoir un scellement constitue une évolution dans un sens défavorable eu égard à l'endommagement de la roche et à l'extrapolation d'essais réalisables dans le laboratoire souterrain de MHM.

L'Andra indique également [6] que « *compte tenu de la taille et de la complexité d'un ouvrage de scellement, le programme expérimental prévoit d'en tester d'abord les différents composants (interruption de l'EDZ, noyau de scellement en argile gonflante et massif d'appui en béton) séparément* » avant « *d'envisager la réalisation d'un pilote préindustriel de l'ensemble de l'ouvrage de scellement* ». L'IRSN partage cette analyse mais constate que la réalisation « *d'un pilote préindustriel de l'ensemble* » n'est envisagée qu'au-delà de 2015. L'IRSN estime donc que les éléments qui seront apportés dans le dossier accompagnant la DAC ne constitueront pas une véritable démonstration *in situ* d'un ouvrage de scellement mais plutôt des éléments de justification d'un choix de concept à venir. De plus, ainsi que détaillé ci-après, l'IRSN estime que l'Andra devra être particulièrement vigilante à la représentativité des conditions dans lesquelles seront testés chaque composants.

#### *Interruption de l'EDZ*

L'Andra rappelle [6] que pour interrompre l'EDZ autour des grands ouvrages, « *deux solutions techniques sont envisagées : réalisation de saignées radiales dans la paroi de la galerie à sceller pour interrompre la fracturation de l'EDZ ou dépose du revêtement pour que le gonflement du noyau d'argile gonflante comprime les fractures de l'EDZ* ».

Pour ce qui concerne le scellement avec saignées, l'IRSN rappelle que des éléments qualitatifs ont été obtenus depuis 2005 au laboratoire souterrain lors de l'expérience KEY sur des saignées partielles (au radier) remplies de résine ou sollicitées par des vérins plats simulant la pression de gonflement d'une argile gonflante. Cependant, au cours de cette expérience, la resaturation forcée d'une argile gonflante mise en place dans une saignée a posé des difficultés<sup>36</sup> et l'IRSN constate qu'à ce jour, aucun élément de démonstration de performance de ce type d'ouvrage (*i.e.* avec argile gonflante) n'est apporté. Afin de dissiper les doutes relatifs à la compréhension du processus de resaturation d'une argile gonflante, l'IRSN estime que pour la DAC, le dysfonctionnement de la resaturation de l'argile gonflante de l'expérience KEY devrait être expliqué. L'IRSN note que la quantification de la

<sup>36</sup> Lors de la réunion préparatoire tenue le 8 octobre 2010, l'Andra a précisé que la resaturation n'avait été obtenue que pour la partie de la saignée située sous le radier mais pas pour la partie en piédroit

performance d'une saignée complète, *i.e.* sur toute la circonférence d'une galerie et avec argile gonflante, ne pourra être envisagée, selon l'Andra, qu'au-delà de 2015. A cet égard, l'IRSN estime que pour être représentative, la profondeur de cette saignée expérimentale devrait être à l'échelle 1 par rapport aux profondeurs envisagées dans les concepts de l'Andra, soit jusqu'à 3 m selon les concepts actuellement retenus (cf. Figure 13).

Par ailleurs, pour ce qui concerne le scellement avec dépose totale du revêtement, l'Andra [6] indique qu'« *une expérimentation de confinement mécanique de l'EDZ par compression, mise en œuvre dès 2011, permettra de tester d'ici 2015 la possibilité de cicatrifier l'EDZ. Suite à cette expérimentation, un essai de dépose du revêtement pourra être envisagé dans le laboratoire* ». L'IRSN estime qu'un essai de dépose de revêtement serait pertinent car celle-ci est envisagée dans les deux concepts de l'Andra, que ce soit pour réaliser l'épaulement du scellement avec saignée ou l'ensemble du scellement dans les concepts sans saignées. Cependant, l'IRSN constate que cet essai n'est envisagé qu'au-delà de 2015. S'agissant de la quantification à Bure de la réduction des propriétés de transport de l'EDZ avec le confinement mécanique de la paroi, phénomène observé par ailleurs dans des laboratoires étrangers, l'IRSN estime que cette réduction dépend probablement de l'intensité, de l'extension et de la géométrie de la zone endommagée considérée et à cet égard, souligne la différence de dimension entre la galerie testée au laboratoire souterrain de Bure (de l'ordre de 5 m de diamètre) et les ouvrages appelés à recevoir un scellement dans le stockage (plus de 7,5 m de diamètre excavé pour les galeries et jusque 14 m pour les puits) ainsi que la différence de leurs conditions d'exploitation (ventilation, durée...). L'IRSN souligne qu'il conviendra d'utiliser avec prudence les résultats obtenus en laboratoire souterrain pour justifier les concepts de référence qui seront retenus pour la DAC.

#### *Construction d'un noyau de scellement en argile gonflante*

L'Andra a indiqué au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0084) qu'une expérimentation (NSC, Noyau de Scellement) doit débuter en 2012 dans le laboratoire souterrain, consistant à tester la mise en place dans une galerie d'un noyau de scellement de 4,60 m de diamètre, confiné entre un massif d'appui en béton et une chambre de saturation/injection en fond d'une galerie borgne. La resaturation sera forcée par une face du scellement et des géotextiles mis en place dans le scellement. L'Andra a précisé que d'ici 2014, seuls des résultats sur le comportement transitoire hydromécanique seraient disponibles. Ensuite, compte-tenu de la durée nécessaire pour resaturer le noyau, les résultats de performance hydraulique ne pourraient être consolidés qu'à l'horizon 2025. L'IRSN estime que cet élément va bien dans le sens « *des essais in situ en vraie grandeur* » demandés par le GPD en 2005 et qu'avec 4,60 m de diamètre, il représente un essai conséquent. Cependant, cet essai ne sera pas à « l'échelle 1 » des ouvrages envisagés dans le futur stockage mais dans une galerie de diamètre inférieur et sur une longueur nettement plus petite ; qui plus est, les résultats ne seront disponibles qu'à l'horizon 2025. L'IRSN constate en outre un calendrier tendu pour des résultats préliminaires en 2015. Pour ce qui concerne la représentativité de l'essai, outre la différence de dimension entre l'ouvrage testé au laboratoire souterrain et ceux envisagés dans le concept de stockage, l'IRSN souligne la présence de géotextiles et la resaturation forcée de l'ouvrage expérimental ainsi que l'absence de l'épais revêtement en béton qui pourrait être laissé en place dans un ouvrage de scellement réel avec saignées. L'IRSN estime donc que les éléments attendus pour 2015 concernant les performances d'un noyau de scellement des grands ouvrages ne seront que partiels au regard de la démonstration de faisabilité industrielle et de performance du concept.

### *Conditions de fonctionnement des ouvrages en situation réelle*

Outre les remarques précédentes sur la représentativité des essais envisagés par l'Andra, l'IRSN estime que les conditions d'environnement d'un ouvrage de scellement en situation réelle et celles d'un ouvrage expérimental en laboratoire souterrain peuvent différer sur certains points qu'il est important d'identifier.

Par exemple, dans le cas des scellements avec saignées et dans l'hypothèse où la roche fluerait peu, la pression de gonflement du noyau de scellement pourrait conduire à la rupture en traction du revêtement en béton laissé en place. L'Andra a indiqué au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0084) que « *les zones du scellement où le revêtement/soutènement serait laissé en place ne jouent pas de rôle dans la performance hydraulique du scellement. Cette dernière est définie par les zones où le revêtement est retiré et où la bentonite est en interface directe avec les argilites. Dans le cas d'un scellement avec une coupure hydraulique, il s'agit de la zone de la saignée avec les épaulements* ». L'IRSN note que dans les concepts de scellement avec saignées, les parties de l'ouvrage où le revêtement est déposé (saignées et épaulements) jouent un rôle essentiel.

L'IRSN souligne par ailleurs qu'une modélisation analytique [Dufour, 2010] réalisée en poroélasticité montre que le rééquilibrage hydraulique d'une cavité provoque un retour élastique (centripète) de la paroi vers sa position initiale (*i.e.* avant excavation). L'IRSN en conclut que pour des ouvrages remblayés, dans l'hypothèse où la roche fluerait peu, une tendance au décollement entre les revêtements laissés en place et la roche pourrait apparaître de façon transitoire pendant la phase de post-fermeture, probablement contrecarrée par le gonflement des argilites mais conduisant néanmoins à une augmentation possible de la conductivité hydraulique de cette interface. L'Andra a précisé à cet égard, au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/10-0084 précitée), que « *le revêtement/soutènement [des galeries] est conçu pour être en contact avec la roche. Le remblai sera spécifié pour limiter les déformations de la roche et éviter l'apparition de vides entre d'une part la roche et le soutènement et d'autre part le soutènement et le remblai* ». L'IRSN convient qu'une spécification technique du remblai ou des dispositions techniques prises au moment de la fermeture d'une galerie pourraient lever cette indétermination.

En tout état de cause, l'IRSN estime que des simulations numériques sont nécessaires pour préciser les conditions d'environnement des ouvrages de scellement en situation réelle et rappelle, ainsi qu'indiqué au paragraphe 6.2.1.2.3 du présent rapport relatif au comportement différé du Callovo-Oxfordien, que des progrès sont encore nécessaires dans le domaine de la modélisation du comportement mécanique des argilites pour que ces simulations puissent constituer des éléments de démonstration.

### *Perturbations chimiques et effets des gaz*

La présence de matériaux cimentaires au contact de l'argile gonflante des ouvrages de scellement (noyau de 40 m de long compris entre deux massifs d'appui en béton et, dans le cas d'un scellement avec saignées, présence d'un revêtement en béton autour du noyau entre les épaulements) induit une perturbation alcaline susceptible d'altérer la capacité de confinement de ces ouvrages.

L'Andra ne présente pas, dans le Dossier 2009, d'actualisation de son évaluation de l'intensité et de l'extension de la perturbation alcaline, ni des conséquences de cette perturbation en termes de capacité de confinement des ouvrages de scellement. L'IRSN rappelle qu'en 2005 (cf. rapport DSU n°106), dans le cas des scellements avec saignées, une altération sur toute la largeur de l'épaulement ne pouvait être exclue en particulier au niveau du radier où la quantité de béton était plus importante. L'IRSN constate que l'Andra n'a pas apporté d'élément complémentaire aux dispositions alors envisagées (dépose du revêtement sur une longueur plus importante, utilisation de béton « bas pH »...). Aussi, l'IRSN estime que la recommandation du GPD relative au dimensionnement des scellements reste d'actualité pour ce qui concerne la prise en compte des perturbations chimiques.

Par ailleurs, pour ce qui concerne les effets des gaz sur les scellements, l'IRSN rappelle, ainsi qu'évoqué au paragraphe 6.2.2.1 du présent rapport relatif aux bouchons d'alvéoles HA, que l'Andra mène des expérimentations sur des échantillons d'argilite, de bentonite et de béton ainsi que dans le laboratoire souterrain dans des forages de petit diamètre, afin de mieux appréhender le comportement des gaz et leurs effets potentiels. L'IRSN note cependant que l'Andra ne prévoit d'essai ni sur un tronçon de noyau d'argile gonflante, ni sur une saignée complète remplie d'argile gonflante (cf. lettre DMR/DIR/10-0084 transmise au cours de l'instruction). Les incertitudes spécifiques aux concepts de scellement de galerie ne pourront donc pas être levées d'ici la DAC ; il conviendrait que l'Andra précise comment les effets des gaz sur les scellements seront pris en compte dans la démonstration de sûreté qui sera présentée dans le dossier accompagnant la DAC. Ceci est repris dans la recommandation générale R3 ci-après.

#### *Cas particulier du scellement de descenderie*

Préalablement à l'examen de la faisabilité des scellements de descenderie, l'IRSN rappelle que l'évaluation des effets d'une descenderie en termes d'hydraulique et de transport est présentée au paragraphe 6.2.4.1 du présent rapport et que l'utilisation des tunneliers dans l'argilite nécessite la réalisation d'une étude de faisabilité (cf. paragraphe 6.2.1.2.2 du présent rapport relatif à l'EDZ).

L'Andra indique [1] que « *les scellements de descenderie sont de conception similaire à celle décrite pour un scellement de galerie de liaison ou un scellement d'alvéole MAVL* ». Cependant, l'IRSN constate que les diamètres excavés des tubes de descenderie mentionnés par l'Andra (8 à 10 m) dépassent les 7,5 m maximum envisagés dans le Dossier 2005 pour les tronçons de galeries appelés à recevoir un scellement et estime donc que les dispositions de scellement actuellement envisagées en descenderie doivent être précisées. En outre, le Dossier 2005 ne retenait en liaisons jour-fond que des puits et envisageait leur scellement en partie supérieure du Callovo-Oxfordien « *sur la plus grande hauteur possible* » soit « *au moins une trentaine de mètres* ». L'IRSN constate que pour sceller une hauteur équivalente dans une descenderie présentant une pente de 10 à 12 %, l'Andra serait amenée à réaliser des scellements de 250 à 300 m de long, ce qui dépasse la dimension « *décamétrique à pluridécamétrique (en fonction de leur section)* » mentionnée [2] pour les scellements en général.

E15.4

Ainsi, l'IRSN considère que l'Andra devra préciser, dans le dossier accompagnant la DAC, l'option de scellement de la descenderie et évaluer la robustesse de ce concept en termes de faisabilité et de performance globale.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

#### *Conclusion*

L'IRSN note que le Dossier 2009 présente des modifications par rapport au Dossier 2005 pour ce qui concerne les scellements, notamment le diamètre des tronçons de galerie appelés à recevoir un scellement et l'introduction d'une descenderie pour laquelle le concept de barrières ouvragées argileuses doit encore être précisé. L'IRSN partage l'analyse de l'Andra selon laquelle la taille et la complexité des ouvrages de scellement nécessite d'en tester d'abord les différents composants, mais souligne que les éléments ainsi apportés ne constituent pas une véritable démonstration *in situ* de l'ensemble de l'ouvrage mais plutôt des éléments de justification en vue d'un choix de concept à venir. D'une manière générale, l'IRSN constate que le Dossier 2009 n'apporte pas les confirmations *in situ* et en vraie grandeur relatives aux performances des ouvrages de scellement demandées par l'ASN et le GPD suite à l'examen du Dossier 2005 et estime que peu de résultats nouveaux seront acquis d'ici 2015.

R3

Ainsi, en parallèle de la poursuite des études visant à aboutir à la qualification des concepts retenus à ce jour par l'Andra pour les scellements, l'IRSN recommande que l'Andra présente des concepts de référence plus simples que ceux actuellement retenus, et pour lesquels suffisamment d'éléments probants quant à la démonstration de leur faisabilité industrielle pourront être réunis à l'échéance de la DAC. Les performances minimales de ces concepts devront être déterminées, en tenant compte de la présence de l'EDZ et des effets éventuels des gaz, pour les diverses situations de fonctionnement du stockage et en particulier, le degré de saturation du noyau, compte-tenu des incertitudes sur le processus de resaturation naturelle. A cet égard, l'IRSN recommande que l'Andra évalue l'intérêt de procéder, ou non, à la resaturation artificielle des scellements lors de leur mise en place.

### 6.2.2.3 Remblais

L'Andra indique [6] qu'« un démonstrateur de remblaiement de galerie installé en surface a permis de tester une technique de mise en place et de compactage des remblais par plaque vibrante. [...] D'autres essais pourront être envisagés dans le laboratoire ou en surface après 2015 ». Ainsi par exemple, l'Andra envisage notamment d'étudier, en vue de leur possible utilisation comme matériau de remblai, « l'évolution des matériaux de déblais (argillites) stockés sur la verse du laboratoire ». L'IRSN estime que ces éléments sont pertinents.

D'une manière générale, outre les remarques déjà formulées dans le présent rapport quant à la représentativité de la taille des ouvrages expérimentés, l'IRSN estime que, dans le dossier accompagnant la DAC, les spécifications techniques du remblayage des différents ouvrages devraient être précisées.

## 6.2.3 LES COLIS DE STOCKAGE

Les fonctions de sûreté à long terme auxquelles participent les colis de stockage MAVL et HA [1] sont de « limiter le relâchement des radionucléides et les immobiliser dans le stockage », « retarder et atténuer la migration des radionucléides » et « rester sous critique ».

### 6.2.3.1 Colis de stockage de déchets MAVL

Pour répondre aux fonctions de sûreté précitées, l'Andra définit les exigences suivantes pour les colis de stockage MAVL :

- « limiter les interactions chimiques roche - matériaux rapportés [...] perturbant l'argilite » ;
- « limiter la masse de matière fissile par colis de stockage ».

Ainsi qu'indiqué au paragraphe 4.1.2 du présent rapport, l'Andra prévoit de placer la plupart des colis primaires de déchets MAVL dans des conteneurs parallélépipédiques en béton. Ce concept est similaire à celui retenu dans le Dossier 2005, dans lequel l'Andra n'attribuait, pour la phase de post-fermeture, aucun rôle spécifique de confinement au colis de stockage de déchets MAVL. L'IRSN constate que l'Andra a précisé, dans le Dossier 2009, les fonctions et exigences de sûreté associées aux colis de stockage de déchets MAVL, clarifiant ainsi leur rôle, ce qui est satisfaisant. Néanmoins, l'Andra n'a pas figé, au stade du Dossier 2009, les options techniques détaillées pour ces colis de stockage. Aussi, il conviendra que pour le dossier accompagnant la DAC, l'Andra présente les options techniques retenues pour ces composants.

Des alternatives au conteneur en béton sont en outre étudiées pour les colis de déchets MAVL vitrifiés, afin d'éviter leur stockage dans un environnement cimentaire. L'Andra envisage pour cela (cf. lettre DMR/DIR/10-0083 transmise au cours de l'instruction) de stocker ces déchets dans des alvéoles dédiés. Elle précise qu'« en évitant la proximité de grandes masses de béton à pH élevé, des alvéoles dédiés favoriseraient le confinement des

déchets par le verre dans lesquels ils sont incorporés » mais ne présente pas les options techniques envisagées. L'Andra ajoute que des études exploratoires sont envisagées à partir de 2010 et seront intégrées dans les futures études de conception. Ceci n'appelle pas de remarque sur le principe. Néanmoins l'IRSN attire l'attention sur le fait qu'un conteneur de stockage et, le cas échéant, un alvéole de stockage, différents pour les colis de déchets MAVL vitrifiés de ceux actuellement retenus pour les autres colis de déchets, constitueraient de nouvelles options de conception.

E16

Aussi, l'IRSN considère que l'Andra devra évaluer, dans le dossier accompagnant la DAC, la sûreté en phase d'exploitation et de post-fermeture de l'option de conception qui sera retenue pour les colis de déchets MAVL vitrifiés.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

### 6.2.3.2 Colis de stockage de déchets HA

Pour assurer la fonction de sûreté « limiter le relâchement des radionucléides et les immobiliser dans le stockage » affectée au colis de stockage de déchets HA, l'Andra retient des exigences associées au surconteneur des colis de stockage de déchets HA, en combinaison avec des exigences associées au chemisage de l'alvéole. Il s'agit, pour le surconteneur, d'empêcher l'arrivée d'eau sur le verre pendant la phase thermique et d'assurer sa tenue aux sollicitations mécaniques sous chargement hydrostatique et, pour le chemisage, d'assurer sa tenue mécanique pendant la phase thermique en vue de maîtriser les sollicitations mécaniques du surconteneur.

Les exigences appliquées aux colis de stockage de déchets HA pour assurer les fonctions de sûreté « retarder et atténuer la migration des radionucléides » et « rester sous critique » sont les mêmes que celles retenues pour les colis MAVL, à savoir « choisir des matériaux pour préserver les caractéristiques physico-chimiques favorables de la formation hôte (milieu réduit, sorbant, pH) » et « limiter la masse de matière fissile par colis de stockage ».

L'IRSN rappelle que, à l'issue de l'examen du Dossier 2005, le groupe permanent a recommandé à l'Andra de « préciser le dimensionnement des composants métalliques du stockage (chemisage des alvéoles et (sur)conteneurs) » dans le dossier accompagnant la DAC. Pour les raisons présentées au paragraphe 5.2.1, et comme en 2005, l'IRSN ne remet pas en cause les ordres de grandeur des épaisseurs retenues pour le surconteneur et le chemisage d'alvéole de stockage de déchets HA, mais estime d'une part que les données rassemblées ne permettent pas de garantir que le surconteneur restera étanche pour la durée d'ordre millénaire retenue par l'Andra dans le Dossier 2009 et, d'autre part, qu'une rupture précoce du chemisage ne peut être exclue.

En conséquence, l'IRSN considère que la recommandation du groupe permanent relative au dimensionnement des composants métalliques de l'alvéole HA mentionnée ci-avant reste d'actualité.

En outre, l'IRSN rappelle (cf. Rapport DSU n°106) qu'il conviendra de préciser les estimations des taux de défaillances possibles qui seront pris en compte en situation d'évolution normale du stockage, sur la base notamment des résultats d'un programme d'étude et de développement des surconteneurs.

### 6.2.3.3 Modèles de relâchement hors des colis de stockage

L'Andra a indiqué au cours de l'instruction (cf. lettre DMR/DIR/2010-0082) que les modèles de relâchement tels que retenus dans le Dossier 2005 seront révisés pour la DAC et n'ont pas fait l'objet de mise à jour pour le Dossier 2009.

L'IRSN rappelle sa conclusion à l'issue de l'examen du Dossier 2005 (cf. rapport DSU n°106), selon laquelle l'Andra devait mener des programmes de recherche pour préciser la connaissance du comportement de la matrice des

colis de déchets (*i.e.* taux de fracturation des colis de déchets vitrifiés, cinétique de relâchement des colis de boues bitumées...) afin d'améliorer l'applicabilité des modèles de relâchement.

L'Andra a présenté (cf. lettre DMR/DIR/2010-0082 précitée) les grandes lignes des études relatives aux modèles de relâchement qu'elle prévoit de mener d'ici la DAC. L'IRSN estime que ces études devraient notamment permettre de diminuer les incertitudes relevées en 2005 concernant le comportement de la matrice des colis de déchets.

## **6.2.4 EVALUATION DE LA CAPACITE GLOBALE DE CONFINEMENT DU STOCKAGE A LONG TERME**

Le présent chapitre examine en premier lieu l'évaluation du transfert des radionucléides au travers des différentes barrières. En second lieu sont examinées les nouvelles connaissances acquises par l'Andra depuis 2005 relatives au système hydrogéologique du secteur de MHM. L'évaluation de l'impact radiologique global du stockage sur le long terme n'a pas été actualisée au stade du Dossier 2009 ; l'Andra prévoit cette actualisation en vue de la DAC.

### **6.2.4.1 Evaluation du transfert des radionucléides**

L'évaluation du transfert des radionucléides est réalisée sur la base de l'analyse intégrée des capacités des principaux composants du stockage à remplir les fonctions de sûreté qui leur sont affectées (présentées au paragraphe 3.2 du présent rapport). Cette analyse nécessite de construire un ensemble de scénarios d'évolution du stockage à long terme pour lesquels les composants ont des performances variables basées sur des hypothèses qui peuvent être regroupées en deux catégories : celles relatives à une évolution dite « normale » du stockage et celles caractéristiques de défauts de fonctionnement conduisant à des évolutions dites « altérées ». Dans le Dossier 2005, l'Andra retenait trois scénarios d'évolution altérée (avec des variantes en analyse de sensibilité) destinés à évaluer l'aptitude du stockage à assurer le confinement des radionucléides pour diverses combinaisons de défaillance des colis de stockage de déchets et de court-circuit de la formation hôte. Un quatrième scénario qualifié de « fonctionnement très dégradé » était également étudié afin d'évaluer la robustesse des concepts de stockage lorsque les performances des barrières sont simultanément amoindries. L'Andra indique [1] que, pour la DAC, les scénarios d'évolution du stockage seront identiques à ceux présentés dans le Dossier 2005. L'Andra précise que la description des scénarios inclura néanmoins les évolutions de conception et une mise à jour des valeurs de paramètres en cohérence avec les nouvelles données acquises après 2005.

Dans le Dossier 2009 [1] l'Andra s'est focalisée sur les concepts ayant évolué entre 2005 et 2009. Les simulations réalisées par l'Andra ont pour objectifs d'évaluer l'influence des modifications d'options de conception sur le confinement des radionucléides et de s'assurer du maintien de transferts diffusifs à travers la formation hôte (comme cela était le cas dans le Dossier 2005). Les modifications d'options de conception sont les suivantes :

- présence d'une descenderie double tube et déroulée ;
- implantation légèrement excentrée du puits de retour d'air de la zone MAVL par rapport aux trois autres puits ;
- alvéoles MAVL passantes raccordées à la galerie de retour d'air de la zone MAVL ;
- augmentation des longueurs et diminution des diamètres des alvéoles MAVL.

Pour évaluer l'influence de ces choix, l'Andra a choisi de comparer les résultats issus des nouvelles modélisations avec ceux du Dossier 2005. Les modèles développés par l'Andra dans le cadre du Dossier 2009 reprennent les données du Dossier 2005 pour ce qui concerne les paramètres de la formation du Callovo-Oxfordien, de l'EDZ, des composants ouvragés du stockage ainsi que les inventaires et modèles de relâchement, tout en intégrant les modifications géométriques associées aux nouvelles options de conception citées ci-dessus. La comparaison des résultats se fait, notamment, sur la base des débits molaires d'activité calculés pour des indicateurs identiques à



ceux du Dossier 2005 (en sortie d'alvéole, de galerie, de la roche hôte). Il est à noter qu'au stade du Dossier 2009, les modèles développés par l'Andra ne s'étendent pas au-delà de la formation hôte compte tenu du fait qu'aucune évaluation de l'impact radiologique n'est effectuée. L'approche mise en œuvre par l'Andra pour évaluer les capacités de confinement des nouvelles options de conception n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN.

L'Andra a analysé l'influence des évolutions de conception sur la base du scénario d'évolution altérée « tous scellements défaillants » retenu en 2005. Pour ce scénario, il est postulé que l'EDZ n'est pas interrompue autour des bouchons d'alvéoles, des scellements de galeries et de puits. L'Andra indique que, pour les calculs du Dossier 2009, ce scénario a été privilégié, car il avait permis de maximiser, dans le Dossier 2005, la voie de transfert par les ouvrages jusqu'au toit du Callovo-Oxfordien et avait ainsi été identifié par l'Andra comme pénalisant pour l'évaluation de cette voie de transfert. L'Andra avait néanmoins conclu de ce scénario que, de par sa faible perméabilité et ses propriétés de diffusion, la formation hôte du Callovo-Oxfordien contribuait à limiter les apports d'eau ainsi que la migration de solutés dans les ouvrages et restait, dans tous les cas, la voie de transfert diffusive prédominante des solutés radioactifs. Dans son analyse du Dossier 2005, l'IRSN avait relevé (cf. rapport DSU n°106) que cette prédominance était due notamment aux « *surfaces d'échange importantes entre les ouvrages et les argillites [...] ainsi [qu'à] l'architecture borgne des modules d'alvéoles* » combinées à un faible gradient de charge vertical (0,2 et 0,4 m/m). L'IRSN note que, dans le modèle du Dossier 2009, un gradient de charge horizontal, non pris en compte en 2005, a également été considéré (0,014 m/m). L'IRSN estime que le choix de retenir un scénario pénalisant, au regard de la voie de transfert par les ouvrages, pour évaluer l'influence des évolutions de concept, est pertinent.

Ainsi, pour ce qui concerne la zone MAVL, l'Andra a évalué l'influence des alvéoles passants (non borgnes) et de la galerie périphérique de retour d'air connectée pour différents positionnements d'un ou deux puits de retour d'air et pour les orientations de gradient horizontal possibles (dont la configuration retenue d'un puits de retour d'air unique peu décentré par rapport aux autres puits). En comparaison du Dossier 2005, le fait que les alvéoles ne soient plus borgnes entraîne une modification du comportement hydraulique de la zone MAVL dans son intégralité. L'Andra précise que, pour l'iode 129, le rapport entre les maxima des voies de transfert via le Callovo-Oxfordien et les ouvrages est supérieur à 7 pour un diamètre de galerie de retour d'air et de puits de 5 m. Il est à noter que, dans le cadre du Dossier 2005, pour le même scénario, le rapport entre les maxima des deux voies de transfert était d'au moins un facteur 300. L'IRSN constate ainsi que la formation hôte reste la voie de transfert prédominante mais que l'augmentation des écoulements dans les alvéoles passants entraîne une augmentation significative des débits d'activité à la sortie des puits et diminue de deux ordres de grandeur la prédominance, en termes de débit d'activité, du Callovo-Oxfordien par rapport aux ouvrages.

Pour ce qui concerne la zone HA, les évaluations de l'Andra prennent en compte l'implantation centrée des puits, la présence d'une descenderie déroulée de 10 % de pente et en analyse de sensibilité, des variations du linéaire de galeries reliant la zone de stockage à la zone centrale des puits. L'IRSN constate que la voie de transfert par la formation hôte reste prédominante et que la présence d'une descenderie ne modifie pas le comportement hydraulique de la zone HA.

D'une manière générale, l'IRSN remarque que les évaluations présentées dans le Dossier 2009 prennent correctement en compte les modifications d'options de conception pouvant jouer un rôle hydraulique dans le stockage et que les calculs couvrent les configurations hydrauliques pénalisantes pouvant être rencontrées avec ces concepts. Selon les résultats des simulations, ces évolutions ne remettent pas en cause le rôle majeur joué par la formation du Callovo-Oxfordien dans le confinement de l'activité et confirment que la voie de transfert par le Callovo-Oxfordien reste prédominante. Néanmoins, l'IRSN considère que du fait de l'abandon du concept d'alvéoles MAVL borgnes, les capacités de confinement du stockage reposent davantage sur une formation hôte

exempte de défaut. A cet égard, l'IRSN s'interroge sur les éventuelles conséquences d'une défaillance de la roche hôte dans une telle configuration et considère, comme cela a déjà été remarqué en 2005 (cf. rapport DSU n°106), au titre d'une approche prudente permettant de considérer les incertitudes résiduelles relatives à la présence éventuelle d'une faille qui n'aurait pas été détectée par les méthodes de reconnaissance déployées dans la ZIRA ni lors du creusement des installations (cf. paragraphe 6.2.1.1 du présent rapport), que des analyses de sensibilité sur la base d'un scénario postulant la présence d'une structure conductrice à proximité des alvéoles devraient être menées. En effet, l'hypothèse de la présence d'une structure conductrice est susceptible d'apporter des éléments de robustesse du concept de stockage au regard notamment du caractère passant des alvéoles MAVL.

En outre, pour ce qui concerne le gradient de charge vertical à travers le Callovo-Oxfordien, l'IRSN rappelle sa remarque formulée à l'issue de son examen du Dossier 2005, selon laquelle il n'était pas possible d'exclure, en l'état des connaissances étant donné qu'il demeurerait plusieurs origines possibles aux surpressions, que ces surpressions puissent avoir une incidence sur les écoulements. Ce rôle hydraulique potentiel était tout de même évalué par l'Andra dans le Dossier 2005 en prenant en compte un gradient de 1 m/m dans les argilites du Callovo-Oxfordien dans ses calculs de sensibilité du scénario « scellements défaillants ». L'IRSN constate que dans le Dossier 2009, l'Andra n'a pas présenté d'études nouvelles pour expliquer les surpressions mais ne considère plus de gradient hydraulique vertical de 1 m/m dans ses calculs (cf. lettre DMR/DIR/10-0078 transmise au cours de l'instruction). Or, un tel gradient pourrait engendrer des écoulements dans le stockage MAVL plus importants que ceux présentés par l'Andra avec un gradient hydraulique vertical de 0,4 m/m. Il conviendrait donc que comme cela a été réalisé en 2005, la sensibilité de la capacité de confinement globale du stockage à un gradient de charge vertical de 1 m/m soit évaluée afin de disposer d'une estimation enveloppe des transferts des radionucléides à travers les ouvrages.

En complément à l'évaluation de l'influence des nouvelles options de conception, l'Andra présente une évaluation des effets engendrés par la variation des propriétés hydrodynamiques de confinement du Callovo-Oxfordien sur cinq localisations au sein de la zone de transposition, en tenant compte des données acquises entre 2005 et 2008. L'Andra indique qu'elle a basé cette analyse sur le scénario d'évolution normale afin de privilégier l'évaluation de la voie de transfert par diffusion à travers le Callovo-Oxfordien et a conservé, pour faciliter la comparaison, les options de conception retenues en 2005. L'IRSN note que, d'une manière générale, les résultats montrent, en raison de propriétés hydrodynamiques relativement homogènes<sup>37</sup> du Callovo-Oxfordien sur ces différentes localisations, que « *le niveau du maximum de débit molaire au toit du Callovo-Oxfordien et respectivement, le temps d'occurrence correspondant, sont finalement peu différents* » d'une localisation à l'autre. Par ailleurs, en comparaison avec les résultats du Dossier 2005, l'Andra indique que les valeurs de paramètres de diffusion utilisées dans cette étude, plus faibles que celles retenues en 2005, entraînent une diminution des débits molaires en sortie du Callovo-Oxfordien (baisse d'environ 50 % pour les cinq localisations) combinée à une arrivée plus tardive de l'activité (pour le scénario évalué, l'arrivée du maximum de débit d'activité la plus précoce est estimée à 630 000 ans minimum alors que dans le dossier 2005, l'arrivée du maximum était estimée à 490 000 ans). La gamme de valeurs de perméabilité testée n'a par contre pas d'influence sur les résultats. L'IRSN observe que l'Andra n'a cependant pas tiré de conclusion quant à la potentielle redistribution d'activité entraînée par l'hypothèse d'un Callovo-Oxfordien plus performant en termes de confinement (*i.e.* valeurs de coefficient de diffusion plus faibles) entre les différentes voies de transfert (Callovo-Oxfordien et ouvrages). A ce propos, l'IRSN a évalué, sur la base d'un modèle très simplifié (cf. Annexe 12), l'influence des nouvelles données relatives au

<sup>37</sup> perméabilité comprise entre  $10^{-12}$  et  $10^{-14}$  m/s, gradient vertical compris entre 0,1 et 0,38 m/m, coefficient de diffusion de pore compris entre  $6,1$  et  $7,3 \cdot 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s. Il convient de noter que l'évaluation de la représentativité des données hydrodynamiques acquises par l'Andra depuis 2005 n'entre pas dans le périmètre du présent examen.

Callovo-Oxfordien sur les débits d'activité en sortie des puits dans le cadre d'un scénario « défaut de scellement » et d'une configuration d'alvéoles MAVL passants. Ces calculs indiquent qu'une diminution de la diffusion dans le Callovo-Oxfordien entraîne une augmentation des débits molaires à la sortie des puits, sans toutefois modifier les vitesses de transfert au travers des ouvrages. Cette observation tend à montrer que cette combinaison, tenant compte de l'actualisation des propriétés hydrodynamiques du Callovo-Oxfordien et de celle des concepts, conduit à diminuer davantage le ratio entre les deux voies de transfert et, par conséquent, la prédominance de la voie de transfert par le Callovo-Oxfordien. Aussi, il conviendrait que pour l'évaluation du transfert des radionucléides qui sera présentée dans le dossier accompagnant la DAC, l'Andra étudie, dans le scénario « défaut de scellement », la sensibilité de la voie de transfert par les ouvrages au coefficient de diffusion dans le Callovo-Oxfordien en s'appuyant sur les résultats des travaux de reconnaissance complémentaires menés depuis 2005 sur la diffusion.

En conclusion, l'IRSN considère que, pour le Dossier 2009, l'Andra a réalisé une évaluation intégrée des performances du stockage convenable compte-tenu de l'objectif d'évaluer les évolutions de conception décrites dans ce dossier. De plus, l'IRSN convient que le Dossier 2009 ne visait pas à présenter une mise à jour complète de l'évaluation de sûreté de l'installation de stockage en phase de post-fermeture. L'IRSN rappelle toutefois qu'à l'issue de l'examen du Dossier 2005, le groupe permanent a recommandé à l'Andra, dans le dossier accompagnant la DAC, d'« expliciter, eu égard aux situations représentatives des évolutions possibles du stockage et à leur vraisemblance, les jeux d'hypothèses retenus pour dimensionner les barrières de confinement et pour définir les scénarios permettant de vérifier l'acceptabilité du stockage ». L'IRSN considère que cette recommandation du groupe permanent reste d'actualité.

#### **6.2.4.2 Système hydrogéologique du secteur de Meuse/Haute-Marne**

La bonne compréhension du comportement des écoulements dans les aquifères sus- et sous-jacents à la formation hôte à l'échelle du secteur de MHM, accompagnée d'une modélisation représentative de ces écoulements, permet *in fine* d'apprécier les capacités de dilution possible des radionucléides lors de leur transport dans ces aquifères et de déterminer la localisation et les caractéristiques des exutoires de surface, ainsi que les temps de transfert pour atteindre ces exutoires. A l'issue de l'examen du Dossier 2005, l'ASN a demandé à l'Andra, en vue d'établir le dossier accompagnant la DAC, d'améliorer cette « compréhension des écoulements souterrains dans les formations encaissantes ». A cet égard, le GPD a recommandé :

- « d'améliorer la connaissance des écoulements souterrains et leur évolution à long terme dans les formations encaissantes au regard des calculs d'impact » ;
- de « poursuivre les travaux de modélisation des écoulements souterrains, afin de mieux apprécier l'évolution de la concentration des radionucléides lors de leur transfert dans les aquifères, préciser dans cet objectif le rôle hydraulique des structures principales identifiées (dont la zone de fracturation diffuse « Marne Poissons ») et établir l'origine de la salinité des eaux des formations encadrant la formation hôte » ;
- d'« évaluer la possibilité et les conséquences de transferts localisés, à l'échelle du secteur, remettant en cause l'hypothèse d'homogénéité retenue dans les modélisations des écoulements dans les formations calcaires qui encadrent la formation hôte ».

Ainsi qu'indiqué au paragraphe 4.1.1, l'Andra a acquis en 2007 et 2008 de nouvelles données concernant les aquifères de l'Oxfordien et du Dogger. L'IRSN considère que les cinq nouveaux points de mesure de charge hydraulique par aquifère ont permis d'améliorer sensiblement la connaissance des écoulements dans le secteur de MHM en précisant la piézométrie de ces deux aquifères. Ces données complémentaires confirment le caractère

relativement homogène des écoulements à l'intérieur de la zone de transposition ; la présence d'éventuels transferts localisés, dus aux hétérogénéités relevées à l'échelle du laboratoire souterrain (cf. rapport DSU n°106) et pouvant constituer un chemin préférentiel d'écoulement à l'échelle de la zone de transposition dans l'Oxfordien et le Dogger, apparaît peu probable.

L'IRSN constate néanmoins que, si les cinq points de mesure de charge hydraulique sont assez bien répartis dans le Nord de la zone de transposition (cf. Figure 1), il n'y a en revanche aucune mesure dans la ZIRA. L'IRSN estime donc qu'afin de consolider les connaissances au droit du stockage, il serait opportun pour l'Andra d'acquérir une valeur de charge hydraulique supplémentaire dans l'Oxfordien, par exemple à l'emplacement d'un des futurs puits de stockage préalablement à son forage.

Par ailleurs, l'IRSN constate que la campagne d'investigations de 2007-2008 a également permis à l'Andra de préciser le rôle hydraulique des failles dans la zone de fracturation diffuse, en mettant en évidence « *un impact hydraulique fort dans les encaissants de la fracturation sur l'ensemble de la "zone de fracturation diffuse"* » [30]. Cet impact se traduit, dans la zone de fracturation diffuse par rapport au reste de la zone de transposition, par des directions d'écoulements modifiées et des écoulements probablement accélérés. Ceci n'appelle pas de commentaire.

Concernant l'origine de la salinité des eaux dans les encaissants, l'Andra attribue, pour l'Oxfordien, l'origine du chlore à la salinité élevée du Dogger (comprise entre 1 et 8 g/L dans ce dernier), après diffusion à travers le Callovo-Oxfordien ; l'Andra se base pour cela sur les profils de concentration en chlorures mesurées dans les trois formations [15]. En outre, les valeurs les plus faibles sont mesurées principalement dans les forages de la zone de fracturation diffuse [30]. Pour le Dogger, l'Andra indique [15] que « *l'origine de la variabilité de la salinité du Dogger n'est pas encore complètement établie, mais elle est très probablement à relier à des apports différenciés d'eaux ou de solutés en provenance de niveaux salifères profonds, tels que le Trias. Ces apports dans le Dogger pourraient être réalisés par diffusion à travers le Lias argileux et/ou par convection d'eaux salées à proximité des structures tectoniques. Ce second type de transfert a été mis en évidence au centre du bassin de Paris, mais n'est pas étayé à ce jour dans l'Est de ce bassin* ». L'interprétation, par l'Andra, des résultats d'analyses des échantillons prélevés dans le Dogger, le Lias et le Trias (provenant du forage profond EST433<sup>38</sup>, cf. paragraphe 4.1.1 et Figure 2) est actuellement en cours pour préciser cette origine en vue de la DAC. Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

Enfin, pour ce qui concerne la modélisation des écoulements et l'estimation de leur évolution à long terme, l'Andra s'était appuyée, dans le Dossier 2005, sur une modélisation hydrogéologique des contextes « actuels » et « géoprospectifs ». Ces derniers visaient à représenter les évolutions géodynamiques susceptibles de se produire au cours du prochain million d'années et d'évaluer leur influence sur les écoulements (vitesses de transfert, localisation des exutoires en surface). Dans la définition de son scénario d'évolution normale pour les calculs d'impact, l'Andra retenait un choix pénalisant pour la localisation de ces exutoires. Pour la DAC, l'Andra prévoit [1] une mise à jour de son modèle hydrogéologique avec une représentation plus précise des formations encaissantes (intégrant les nouvelles données acquises en 2007-2008 dans et autour de la zone de transposition) et actualisera la définition des exutoires pour les deux contextes géodynamiques précités en fonction de la localisation précise du site de stockage. Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

---

<sup>38</sup> Dans le cadre du projet TAPPS2000 « Transferts actuels et passés dans un système sédimentaire aquifère-aquitard : un forage de 2000 mètres dans le Mésozoïque du Bassin de Paris »

## **7 DEMANDE DE RENOUVELLEMENT DE L'AUTORISATION D'EXPLOITATION DU LABORATOIRE DE RECHERCHE SOUTERRAIN DE MHM (DAIE)**

Le décret du 3 août 1999 (cf. annexe 5) a autorisé l'Andra à installer et à exploiter sur le territoire de la commune de Bure (Meuse) un laboratoire souterrain (« laboratoire ») destiné à étudier les formations géologiques profondes dans lesquelles pourraient être stockés des déchets radioactifs. Par décret du 23 décembre 2006, l'Andra a été autorisée à prolonger l'exploitation du laboratoire jusqu'au 31 décembre 2011. Ainsi qu'indiqué au chapitre 1 du présent rapport, l'Andra a déposé une demande de renouvellement de l'autorisation d'exploiter le laboratoire (DAIE) après 2011 ; cette demande est accompagnée d'un dossier tel que défini par le décret n° 93-940 du 16 juillet 1993 relatif à l'autorisation d'installation et d'exploitation d'un laboratoire souterrain. Ce dossier comprend notamment un « mémoire » [6] et un « cahier des charges » [7] résumant le programme d'études envisagées dans le laboratoire, qui sera conduit pour approfondir la caractérisation du milieu géologique, pour étudier les perturbations induites par la construction d'un stockage, ainsi que pour tester la mise en œuvre des solutions techniques étudiées dans le cadre de la conception du stockage et préparer la phase industrielle du projet. Le « cahier des charges » présente également les caractéristiques des installations, l'évaluation de l'impact du projet sur l'environnement, la sécurité des biens et des personnes, les mesures de surveillance et les conditions de remise en état du site.

Comme indiqué dans le chapitre 1 du présent rapport, l'ASN a demandé au GPD de lui faire part de son analyse sur les documents précédemment cités du DAIE, en particulier sur la pertinence du programme d'expérimentations prévu dans le laboratoire souterrain de MHM, eu égard à sa capacité d'apporter en temps voulu les éléments nécessaires à la démonstration de la sûreté du stockage et de la faisabilité technique des options retenues, en cohérence avec le calendrier de développement du projet du stockage prévu par la loi (dépôt d'un dossier en 2012 en vue du débat public, dépôt de la demande d'autorisation de création fin 2014, mise en service en 2025).

### **7.1 PROGRAMME DE RECHERCHE DE L'ANDRA DANS LE LABORATOIRE SOUTERRAIN**

Le programme de recherche du laboratoire pour la période 2012-2030 a été élaboré « à partir d'un recensement des besoins en données et tests *in situ* de solutions technologiques pour la conception et en support à l'évaluation de la sûreté du stockage » (cf. lettre DMR/DIR/10-0084 transmise au cours de l'instruction). L'Andra a regroupé les expérimentations prévues dans le laboratoire en sept thèmes. Les expériences prévues sont décrites ci-dessous pour chacun de ces thèmes, avec une distinction entre les résultats prévus pour 2014-2015 (échéance de la DAC) et ceux prévus pour 2025 voire au-delà.

#### *Mise au point des méthodes de construction et optimisation des ouvrages du stockage*

Pour 2015, l'Andra justifiera les procédés de creusement (méthode d'abattage, traitement des poussières) et de soutènement (boulons d'ancrage, béton projeté, cintres) retenus pour chacun des ouvrages de type « galerie », et présentera l'option de référence pour le creusement des alvéoles HA, notamment sur la base des résultats des essais de creusement réalisés avec l'assemblage et la mise en place du chemisage et d'un prototype de tête d'alvéole. Après 2015, seront étudiés la méthode de réalisation des carrefours et des revêtements et les éventuels procédés de creusement alternatifs (tir ou tunnelier) des grands ouvrages, et seront testés la réalisation du radier et de la chambre interne d'une galerie-type MAVL ainsi que la mise en place du système d'instrumentation. Afin de choisir les caractéristiques techniques des alvéoles de stockage de déchets HA (longueur, tête d'alvéole, mise en place du chemisage...), les mesures de comportement hydromécanique et d'endommagement seront poursuivies, puis d'autres matériaux de chemisage que l'acier pourront être testés, ainsi que des longueurs

d'alvéoles HA supérieures à 40 m.

#### *Mise au point des méthodes de scellement des ouvrages et de remblaiement de galeries*

Pour 2015, l'Andra envisage des expérimentations de mise en place du bouchon métallique de radioprotection, du bouchon d'argile gonflante et d'un massif d'appui en béton pour les alvéoles HA. Pour le scellement et le remblaiement des galeries, seront réalisées des saignées radiales d'interruption de l'EDZ et des expérimentations de confinement mécanique par vérin hydraulique (représentant la poussée du bouchon de bentonite resaturée), ainsi que la mise en place du matériau de noyau de scellement en argile gonflante. Concernant le remblaiement des galeries, des essais de compactage des matériaux (dont l'argilite) par plaque vibrante seront effectués en surface. Pour 2025, sont attendus les résultats des tests *in situ* de performance (perméabilité à l'eau puis au gaz) du bouchon d'argile gonflante (resaturée artificiellement) des alvéoles HA, du remplissage des saignées radiales d'interruption de l'EDZ et de l'essai *in situ* du noyau de scellement de galeries en argile gonflante (resaturée artificiellement) avec présence du massif d'appui en béton.

Des expérimentations relatives au comportement hydromécanique des argilites, à la migration des gaz, aux perturbations d'origine sismique, d'origine chimique et microbiologique et au comportement des matériaux du stockage et de leurs interfaces avec l'argilite sont envisagées par l'Andra et présentées ci-dessous.

- Pour améliorer ses connaissances sur le comportement hydromécanique du Callovo-Oxfordien, pour 2015, l'Andra envisage d'estimer les distances d'influence entre ouvrages et d'obtenir un modèle cohérent de ce comportement, et ce à partir du suivi *in situ* des argilites (champ de contraintes, pression de pore, hygrométrie et température de l'air, caractéristiques de l'EDZ initiale et de son évolution autour des galeries souple et rigide, déformations dans les alvéoles HA non ventilées, les galeries ventilées et les puits). L'effet de la resaturation sur l'EDZ sera quantifié sur une portion de paroi de galerie. Enfin, une étude portera sur les effets de cycles désaturation-resaturation et d'une élévation de température inférieure à 100°C. Au-delà de 2015, seront étudiés la dissipation thermique autour des alvéoles HA en vraie grandeur et les effets d'une température supérieure à 100°C, ainsi qu'éventuellement les déformations et l'EDZ d'une galerie inclinée.
- Pour la migration des gaz (hydrogène produit par corrosion), pour 2012, seront étudiés dans des forages de petit diamètre, le comportement de la roche saine (détermination de la pression d'entrée, de la perméabilité au gaz, du caractère réversible ou non de la fracturation au gaz) et les conditions de resaturation (naturelle par la roche hôte) et de gonflement de la bentonite traversée par un écoulement de gaz. Après 2015, la mesure de transfert de gaz au travers d'un bouchon d'alvéole HA est envisagée en vraie grandeur dans le Laboratoire.
- Les perturbations d'origine sismique seront suivies sur le long terme par le réseau d'écoute sismique régional et les accéléromètres placés à différentes profondeurs dans le Laboratoire.
- Pour les perturbations chimiques et microbiologiques, comme pour le comportement des matériaux du stockage et de leurs interfaces avec l'argilite, les expérimentations *in situ* au Laboratoire, dont certaines ont déjà été initiées, fourniront des premiers résultats en 2015 et seront poursuivies jusqu'en 2030. En vue de mieux appréhender son extension et ses conséquences sur la chimie des gaz dissous de la zone non saturée et de l'eau interstitielle, la perturbation oxydante sera suivie sur échantillons de roche, de gaz et d'eau. Le développement des bactéries et leur influence sur les aciers et bétons seront étudiés. Pour la perturbation due à la migration d'hydrogène, l'interaction de l'hydrogène dissous avec les solutés de l'eau porale et les minéraux constitutifs de l'argilite, déjà étudiée dans le cadre d'une expérimentation *in situ* en cours au Mont Terri, est envisagée au laboratoire après 2015. Des expérimentations (essais

dynamiques ou « dormants »<sup>39</sup>) relatives au comportement des matériaux du stockage et de leurs interfaces avec l'argilite (béton, liants hydrauliques, bentonite, verre, fer) seront poursuivies après 2015, avec en complément des études sur la corrosion des armatures métalliques en vue de déterminer son effet sur la tenue mécanique des bétons. L'Andra a ajouté au cours de l'instruction (cf. lettre DMR-DIR/10-0084) qu'elle prévoyait, après 2015, de tester différents types de bétons dans certaines galeries du laboratoire en vue de diminuer les incertitudes quant à l'impact de leur mise en œuvre industrielle sur leurs propriétés initiales.

*Confirmer les performances de confinement de la formation du Callovo-Oxfordien, caractériser les argilites en place*

Après leur étude en laboratoire de surface jusqu'en 2015, une expérimentation « dormante » sur la diffusion des actinides est prévue dans le Laboratoire. Le transport et la rétention à long terme seront étudiés *in situ* de 2012 à 2025 au travers de nouvelles expériences de diffusion et d'électromigration des traceurs les plus mobiles, à des distances bien supérieures à la zone endommagée.

*Évaluation des conditions de transfert en observant le contexte hydrogéologique dans la durée*

L'Andra prévoit de poursuivre les mesures de charge hydraulique dans les forages proches du laboratoire et des débits d'exhaure globaux des deux puits d'accès au laboratoire.

*Développement des méthodes d'observation et de surveillance pour la gestion réversible du stockage*

La galerie de conception rigide (cf. paragraphe 6.2.1.2.3 du présent rapport) fera l'objet d'une qualification *in situ* du système d'observation-surveillance pour les alvéoles MAVL en 2012, et le dispositif d'auscultation du chemisage des alvéoles HA sera testé dans le cadre de l'essai de fermeture d'un alvéole à partir de 2015, au travers de capteurs et de moyens de transmission placés dans le bouchon métallique de radioprotection.

*Formation aux méthodes de stockage*

L'Andra compte faire du laboratoire un outil pour la formation des ingénieurs et techniciens dans le domaine des Géosciences et de la construction/exploitation d'installations souterraines, et de manière plus générale, de personnes amenées à intervenir sur le centre de stockage.

## 7.2 AVIS DE L'IRSN

La pertinence des sujets de recherche proposés par l'Andra dans son programme vis-à-vis des connaissances attendues pour les prochaines étapes du projet de stockage est examinée ci-après. L'IRSN souligne au préalable que le mémoire du DAIE étant un dossier administratif, il ne présente pas le détail de chaque expérimentations ou essais mais uniquement leurs objectifs, les grandes lignes des moyens et le type de résultats attendus à différentes échéances. L'IRSN n'est donc pas en mesure de se prononcer sur la pertinence des protocoles expérimentaux ou choix techniques vis-à-vis des objectifs fixés, ni sur l'identification d'obstacles éventuels à la réalisation de certaines expérimentations dans les délais prévus par l'Andra.

D'une manière générale, l'IRSN estime que les sujets de recherche et développement présentés par l'Andra dans son programme d'exploitation du laboratoire jusqu'en 2030 sont appropriés car ils visent à combler des lacunes de connaissances relevées dans les chapitres 5 et 6 du présent rapport, sur le comportement des différents matériaux du stockage et de la roche hôte (individuellement ou interagissant entre eux, pendant la phase

---

<sup>39</sup> Les essais dormants consistent en des échantillons de matériaux placés au contact de la roche dans des forages fermés, sans circulation de fluide

d'exploitation du stockage ou après sa fermeture), et ainsi à déterminer les options les plus pertinentes eu égard à la sûreté du stockage. L'IRSN considère en particulier que l'ensemble des sujets d'importance, relatifs au comportement et aux propriétés de transport d'une part de l'argilite saine ou perturbée (thermique, mécanique, hydrique et hydraulique, chimique, et liée au gaz), d'autre part des matériaux ouvragés du stockage et de leurs interfaces avec l'argilite, est couvert par le programme expérimental présenté par l'Andra. Le programme comprend également des expérimentations qui permettront de sélectionner les techniques élémentaires de construction (abattage, soutènement, revêtement) des différents types d'ouvrages (type galeries ou type alvéoles HA). Enfin, l'IRSN note que le suivi de ces expérimentations avec pour objectif de mettre au point des méthodes d'auscultation du milieu pour assurer un suivi fiable et limitant les interventions sur des durées pluri-décennales est approprié.

En particulier, l'IRSN estime que la poursuite des mesures de sismicité par le réseau d'écoute sismique régional et les accéléromètres installés à diverses profondeurs (cf. paragraphe 5.3.1), ainsi que des mesures de charge hydraulique et de débits visant à caractériser les propriétés hydrauliques des aquifères (cf. 5.3.2) n'appelle pas de commentaire. L'IRSN considère également qu'il est important de poursuivre le levé géologique aux parois des galeries, en vue de permettre l'identification d'éventuelles structures d'origine tectonique ; bien que l'Andra ne précise pas la méthode qui sera retenue, l'IRSN estime qu'une observation directe des parements est nécessaire même si cette opération est contraignante pour les travaux d'excavation. En effet, même si des progrès ont été réalisés dans la caractérisation des différents types de fractures composant l'EDZ, des variations dans les techniques et les cadences de creusement pourraient éventuellement révéler de nouveaux types de structures induites. En outre, l'absence de structure d'origine tectonique détectée sur la superficie actuellement reconnue du laboratoire (environ 0,04 km<sup>2</sup>) ne présage pas de l'absence de toute structure sur le laboratoire qui doit doubler sa surface d'ici 2030, et encore moins sur le futur stockage (15 km<sup>2</sup>). L'IRSN rappelle à ce titre que, comme indiqué en 2005 (cf. rapport DSU n°106), l'interception de structures tectoniques mineures ne serait pas forcément de nature à remettre en cause la sûreté du futur stockage. Enfin, l'IRSN note que la poursuite des acquisitions sur les caractéristiques hydrodynamiques des argilites du Callovo-Oxfordien (tests hydrauliques, suivi des pressions sur une longue durée et mesures géochimiques sur échantillons) devraient permettre à l'Andra de déterminer la part des phénomènes chimiques (notamment osmotiques) et tectoniques (contraintes et évolution géodynamique) dans l'origine des surpressions mesurées dans le Callovo-Oxfordien, afin d'en déduire l'incidence sur les écoulements (cf. paragraphe 6.2.4.1).

L'IRSN considère qu'afin d'obtenir un suivi sur de longues durées de certaines expérimentations (corrosion : cf. paragraphe 5.2.3, évolution de l'endommagement, resaturation de la roche après ventilation, cf. paragraphe 6.2.1, ou de noyaux d'argile gonflante, cf. paragraphe 6.2.2.1), pour beaucoup sont déjà débutées, il est important de prolonger l'exploitation du laboratoire. En outre, le laboratoire est le seul lieu d'expérimentations *in situ* dans le Callovo-Oxfordien actuellement disponible, offrant la possibilité de réaliser certains des démonstrateurs *in situ* d'ouvrages (alvéoles de stockage, galeries...) indispensables à la démonstration de la sûreté du stockage.

Par ailleurs, la demande de renouvellement de l'autorisation d'exploitation du laboratoire couvre la période 2012-2030, c'est-à-dire au-delà de la date de mise en fonctionnement du stockage (2025) fixée par la loi du 28 juin 2006. L'Andra mentionne [7] qu' « *une réflexion est en cours pour analyser la possibilité de transformer le laboratoire en Très Grand Instrument de Recherche (TGI) afin de l'ouvrir à des activités de recherche complémentaires de celles actuellement pilotées par l'Andra et d'offrir ainsi à la communauté scientifique une opportunité unique de conduire des travaux expérimentaux dans un site dédié* », tout en précisant qu'au cas où aucun réemploi n'aurait été trouvé d'ici 2030, le site serait alors mis en sécurité. L'Andra a précisé au cours de l'instruction que, dans le cas d'une réponse favorable à la demande de renouvellement « *et en l'absence d'une*



*nouvelle demande de renouvellement instruite avant 2030, la fermeture se situerait à cette échéance* » (cf. lettre DMR/DIR/10-0084). Concernant l'impact éventuel sur le stockage d'un maintien du laboratoire en 2030 voire au-delà, l'IRSN note que l'éloignement du laboratoire par rapport au point de la ZIRA le plus proche (plus d'un kilomètre) permet d'exclure la possibilité que le laboratoire constitue un accès potentiel d'intrusion humaine. En outre, concernant la possibilité que le laboratoire constitue un exutoire hydraulique notable du stockage, l'Andra a indiqué (cf. lettre DMR/DIR/10-0084) que « *l'absence d'interaction entre le stockage et le laboratoire sera vérifiée* » d'ici la DAC et en fonction de la localisation d'implantation du stockage.

Le programme de recherche présenté par l'Andra appelle cependant les remarques détaillées ci-après.

#### *Prise en compte du retour d'expérience des recherches et de l'exploitation du laboratoire*

En premier lieu, l'IRSN souligne que le caractère exigü du laboratoire a rendu difficile l'interprétation de certaines expérimentations, qui ont pu faire l'objet d'interactions comme cela a été le cas, par exemple, au niveau du « pilier » de 12 m x 18 m formé dans le laboratoire par le creusement de quatre galeries rapprochées (cf. paragraphe 6.2.1.2.2 relatif à l'EDZ), et qui a induit des perturbations importantes des contraintes. Si cette configuration particulière a permis d'acquérir des valeurs « extrêmes » de déformation et de profondeur de la zone endommagée aux abords de ce pilier, l'Andra ne considère pas ces valeurs comme représentatives. En outre, comme indiqué dans le paragraphe 6.2.1.2.3, des interférences entre ouvrages ont rendu plus difficile l'interprétation de résultats de l'étude du comportement différé de la roche hôte. D'une manière générale, l'espacement entre les ouvrages non encore construits (cf. plans dans le Cahier des charges du DAIE, Figure 2.2-3) apparaît *a priori* suffisant pour éviter les interactions entre expérimentations situées dans des galeries différentes dans les futures zones du laboratoire. En revanche, en l'absence de détail sur la localisation des expérimentations dans ces futures galeries, l'IRSN n'est pas en mesure de dire si des expérimentations éventuellement envisagées dans une même galerie seront suffisamment espacées pour éviter qu'elles interagissent. Enfin, ce problème d'interactions entre expérimentations pourrait se reproduire dans les galeries actuelles du laboratoire étant donnée la concentration des expérimentations qui y sont envisagées.

Aussi, l'IRSN estime que le protocole des expérimentations ainsi que le calendrier associé ne sont pas suffisamment détaillés dans le Mémoire du DAIE pour pouvoir se prononcer sur l'existence de possibles interactions entre les expérimentations et essais qui seront menés dans les galeries actuelles ou futures du laboratoire.

En outre, dans le Dossier 2009 et le DAIE, l'Andra ne présente pas de bilan « critique » sur les expérimentations menées dans le laboratoire aujourd'hui terminées ou en cours. Au cours de l'instruction, l'Andra a indiqué, par lettre DMR/DIR/10-0084 que « *le déroulement des essais et expérimentations in situ dans le laboratoire souterrain est tracé [par] rapports de synthèse de fin d'opération avec propositions d'amélioration, fiches de modification, modification ou adaptation des cahiers des charges des prestataires* », mais n'a pas fourni les éléments de retour d'expérience demandés pour chaque expérimentation. A cet égard, l'IRSN cite par exemple l'expérimentation « KEY » (évoquée au paragraphe 6.2.2.2 du présent rapport) qui avait pour objectifs, d'après le cahier des charges<sup>40</sup>, de « *fournir une solution technique qui démontre la faisabilité de limiter l'endommagement en paroi de galerie au moment de sa construction* » et de « *vérifier la faisabilité d'une méthode d'interruption de la zone fracturée* ». La resaturation de la bentonite située au niveau des piédroits de la galerie, sous le radier de laquelle l'essai a été réalisé, a posé des difficultés et n'est toujours pas entièrement achevée (resaturation artificielle difficile à mettre en œuvre). Lors de la conception détaillée de la nouvelle expérience d'interruption par saignées, il conviendra d'analyser les procédés permettant de surmonter les difficultés de resaturation

<sup>40</sup> Rapport Andra C.CC.ASMG.02-012/B

artificielle, en s'appuyant notamment sur le retour d'expérience de l'essai KEY. D'une manière générale, l'IRSN considère que le programme de R&D présenté devrait être fondé explicitement sur un bilan critique des différentes expérimentations déjà réalisées afin d'asseoir la pertinence de ce programme, en termes notamment de définition des objectifs, d'adéquation des moyens retenus pour les atteindre et de planification.

Par ailleurs, l'Andra ne présente pas dans le Dossier 2009 dans quelle mesure le retour d'expérience des expérimentations et essais menés dans le laboratoire est utilisé pour déterminer les concepts de référence du Dossier 2009. L'IRSN considère que l'intégration du retour d'expérience contribue *in fine* à la justification des choix de concepts retenus pour le stockage.

L'IRSN estime donc qu'il conviendrait que la justification d'une part de la définition des expérimentations et essais futurs, d'autre part du choix des concepts retenus pour le stockage, s'appuie sur le retour d'expérience des expérimentations et essais menés dans le laboratoire souterrain de MHM.

L'IRSN considère enfin que le retour d'expérience relatif à la construction et à l'exploitation du laboratoire souterrain, ainsi qu'à l'auscultation de ses composants, constitue un acquis d'intérêt vis-à-vis des activités futures à mener d'une part dans le laboratoire et d'autre part dans le stockage. A cet égard, l'Andra a transmis, au cours de l'instruction, un bilan de ces activités (cf. lettre DMR/DIR/10-0110 et [22]). L'IRSN note que ce bilan, qui justifie par le retour d'expérience certains choix de dispositions ou d'exigences que l'Andra prévoit d'appliquer aux activités du futur stockage, serait à compléter, en particulier concernant les activités de maintenance (revêtements béton et radiers, ventilation...) et les méthodes de creusement. A titre d'exemple, l'Andra ne présente pas le retour d'expérience concernant l'état de fonctionnement des drains situés dans les puits ; or, comme indiqué au paragraphe 5.3.2 du présent rapport, leur mauvais fonctionnement peut porter atteinte à la tenue mécanique des parois des puits. Par ailleurs, l'IRSN considère que le nombre non négligeable de constats de présence de petits volumes d'eau sous le radier de certaines galeries, que l'Andra attribue aux conditions de chantier (eaux de lavage ou fuites temporaires ; cf. lettre DMR/DIR/10-0084), pourrait contribuer à relâcher la vigilance et finir par masquer une éventuelle venue d'eau naturelle de la formation hôte. D'une manière générale, l'IRSN considère que le retour d'expérience concernant la maintenance mise en œuvre dans le laboratoire nécessiterait d'être développé plus avant, en présentant, pour chaque opération, une liste précise des phénomènes pouvant être à l'origine d'une maintenance afin de la gérer au mieux.

E17.2

L'IRSN considère donc que l'Andra devra présenter, dans le dossier accompagnant la DAC, la manière dont elle a exploité et exploitera les connaissances et le savoir-faire acquis au laboratoire souterrain pour améliorer les activités d'exploitation et d'auscultation dans le futur stockage.

Ce point a fait l'objet d'un engagement de la part de l'Andra (cf. lettre DG/10-0324).

### *Démonstrateurs*

L'IRSN a déjà évoqué à plusieurs reprises, dans les paragraphes 6.2.1 et 6.2.2 du présent rapport relatifs aux capacités de confinement de la barrière géologique et des barrières ouvragées argileuses, l'inadéquation entre le calendrier du programme des recherches envisagées dans le laboratoire entre 2011 et 2030 et la nécessité d'apporter des éléments de démonstration de faisabilité technique de certains ouvrages en vue de l'examen de la DAC en 2015. En particulier, les performances réelles des bouchons d'alvéoles HA ne seront pas disponibles en vue de la constitution du dossier de DAC (fin 2014). En outre, l'IRSN observe que la réalisation d'un certain nombre de démonstrateurs n'est pas envisagée dans le cadre du programme de recherches dans le laboratoire jusqu'à 2030. Il s'agit en particulier des démonstrateurs *in situ* en vraie grandeur d'alvéoles MAVL, de galeries et de leurs scellements, ainsi que de croisements superposés. Enfin, l'Andra n'envisage pas non plus d'essais dédiés à la démonstration de récupérabilité des colis. L'IRSN estime que la démonstration des méthodes de construction et

de scellement des ouvrages du stockage, visée par l'Andra dans son programme de R&D, devrait être disponible dans le dossier accompagnant la DAC. L'IRSN considère de plus que la démonstration de faisabilité industrielle (répétabilité des ouvrages, accompagnée de la définition de marges par rapport aux limites des spécifications techniques qui auront été préalablement fixées) à présenter pour la mise en service industrielle (MSI) nécessite d'être intégrée dans le programme de développement de démonstrateurs de l'Andra.

### 7.3 CONCLUSION

En conclusion, l'IRSN considère que le programme des études dans le laboratoire présenté par l'Andra justifie le prolongement de l'exploitation du laboratoire. L'IRSN estime que la poursuite des expérimentations dans celui-ci est nécessaire jusqu'à obtention d'une connaissance des processus lents (perturbations dues au stockage, comportement des matériaux) avec une confiance suffisante. L'IRSN constate néanmoins que certains démonstrateurs *in situ* en vraie grandeur essentiels ne livreront des résultats qu'au-delà de la DAC prévue en 2014 (performance des saignées et du noyau de scellement en argile gonflante pour les galeries, alvéoles HA avec chargement thermique et performances du chemisage), ou ne sont pas prévus dans le programme de recherche dans le laboratoire souterrain de MHM (essais *in situ* de retrait de colis, démonstrateurs à l'échelle 1, d'alvéoles MAVL ainsi que de croisements de galeries superposées).

Il appartient donc à Andra de déterminer dans les meilleurs délais dans quel cadre ces démonstrateurs seront réalisés, notamment dans le laboratoire ou dans une zone dédiée au sein de l'installation de stockage dont elle demanderait l'autorisation de création en 2014. L'Andra devra, sur cette base notamment, préciser quel sera le périmètre de la DAC qu'elle sollicitera en 2014 et proposer des points d'arrêt relatifs au développement de la construction du stockage dans le cas où l'ensemble des éléments identifiés comme nécessaires ci-avant ne pourraient être réunis à l'horizon de cette DAC.

## 8 CONCLUSION GENERALE

L'IRSN considère que le Dossier 2009 et les informations transmises lors de l'instruction de ce dossier constituent des avancées par rapport au Dossier 2005. L'IRSN note en particulier des évolutions des concepts (descenderie en option de référence, principe d'alvéole MAVL « passant », galeries de transfert plus larges, insert en tête d'alvéole HA) principalement guidées par la nécessité de prendre en compte certaines contraintes d'exploitation (ventilation des alvéoles MAVL, modalités d'introduction et de retrait des colis de stockage dans l'alvéole HA...).

Dans la perspective d'une demande d'autorisation de création (DAC) du centre de stockage, dont le décret n°2008-357 du 16 avril 2008 (cf. annexe 3) dispose qu'elle doit être présentée au plus tard fin 2014, l'IRSN estime que le Dossier 2009 fournit une base qui permet d'identifier les compléments à apporter en priorité dans la démonstration de sûreté qui sera présentée par l'Andra dans le dossier accompagnant la DAC en 2014. Parmi les points à approfondir, l'IRSN estime plus particulièrement que :

- i) les exigences de sûreté portant sur la deuxième barrière de confinement statique devront être précisées en tenant compte de défaillances possibles du colis primaire. Par ailleurs, l'IRSN considère que l'Andra devra mettre en œuvre des secteurs de confinement assortis d'un confinement dynamique, dans les zones où une défaillance du confinement statique pourrait entraîner une dissémination des matières radioactives ;
- ii) les scénarios de blocage des opérations de manutention devront être définis et les dispositions mises en œuvre dans un tel cas devront être précisées ;
- iii) les risques liés aux travaux souterrains devront être analysés au regard de leur impact sur les activités nucléaires, compte tenu de la concomitance des deux types d'activité ;
- iv) la démarche de dimensionnement de l'installation devra être consolidée en justifiant notamment que les scénarios retenus pour le dimensionnement sont bien enveloppes de l'ensemble des situations envisageables de fonctionnement du stockage.

Les principes de sûreté pour la conception des installations de surface, l'analyse des besoins d'entreposage et les dispositions relatives à la mise en œuvre de la réversibilité du stockage n'appellent pas de remarque de fond.

Pour ce qui concerne la démonstration de sûreté après la fermeture du stockage, l'IRSN estime que, si des progrès ont été réalisés depuis 2005, la réalisation de démonstrateurs *in situ* destinés à qualifier la mise en œuvre des ouvrages de scellement ainsi que la faisabilité des ouvrages de grande dimension, notamment pour ce qui concerne la maîtrise de l'endommagement de la roche, reste nécessaire ; les demandes formulées en 2005 en ce sens par l'ASN restent donc d'actualité. S'agissant des démonstrateurs de scellement, les résultats ne seront pas disponibles à l'échéance du dépôt du dossier accompagnant la DAC en 2014. Aussi, en parallèle de la poursuite des études visant à aboutir à la qualification des concepts retenus à ce jour par l'Andra pour les scellements, l'IRSN recommande que l'Andra présente des concepts de référence plus simples que ceux actuellement retenus, et pour lesquels suffisamment d'éléments probants quant à la démonstration de leur faisabilité industrielle pourront être réunis à l'échéance de cette DAC. S'agissant des démonstrateurs d'ouvrages de grande dimension, l'IRSN relève que leur réalisation n'est pas prévue. L'IRSN considère que la qualification de tels ouvrages en vue de leur mise en exploitation reste subordonnée à la réalisation préalable d'un démonstrateur *in situ*. Il appartiendra à l'Andra de déterminer, dans les meilleurs délais et en tout état de cause à l'échéance de la DAC, dans quel cadre et à quelle échéance un tel démonstrateur sera réalisé.

Ainsi, certains éléments de la démonstration de sûreté ne pourront être apportés qu'après la date de dépôt de la DAC en 2014. Au regard de la durée séculaire de l'exploitation du stockage, l'IRSN estime que ceci n'est pas

rédhibitoire, dans la mesure où la réalisation de différentes parties du stockage pourrait faire l'objet de demandes d'autorisation spécifiques étalées dans le temps. Dans cette logique de réalisation progressive, l'Andra a indiqué être en mesure de fournir, à l'échéance de la DAC, un avant projet sommaire, avec l'approfondissement de certains points, pour la réalisation d'une première tranche du stockage. L'IRSN considère que cette approche est acceptable à condition de présenter dans le dossier accompagnant la DAC, pour les premiers ouvrages construits, au moins les ouvrages de liaison jour-fond, une démonstration de sûreté s'appuyant sur un avant projet détaillé. L'avant projet sommaire relatif aux ouvrages qui seront construits ultérieurement devra quant à lui être suffisamment détaillé pour permettre de statuer sur la possibilité d'exploiter et de fermer de manière sûre le stockage sans remettre en cause le dimensionnement des ouvrages qui auront été construits préalablement.

Enfin, s'agissant du dossier de DAIE, l'IRSN considère que moyennant la prise en compte des remarques précédentes, les objectifs du programme de recherche sont pertinents et que la poursuite des expérimentations et essais dans le laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne est en tout état de cause nécessaire au regard des enjeux liés aux démonstrations qui devront être apportées dans la suite du projet.



**ANNEXE 1 - LETTRE ASN/CODEP-DRD-2010-012993 DU 29 MARS 2010**



**Direction des Installations de recherche  
et des déchets**

Paris, le 29 MAR 2010

N/Réf. : CODEP-DRD-2010-012993  
Affaire suivie par Marc OLIVIER  
Tél. : 01 43 19 70 15  
Fax : 01 43 19 71 66  
Mél : marc.olivier@asn.fr

Le Directeur de l'Autorité de sûreté nucléaire

à

Monsieur le Président du Groupe Permanent  
d'experts pour les déchets

**Objet :** Dossier 2009 pour le projet HA-MAVL et demande de renouvellement de l'autorisation d'exploitation du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.

**Réf. :** 1/ Lettre ANDRA DG/10-0013 du 19 janvier 2010.

La loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs prévoit la poursuite des études et recherches sur le stockage réversible en couche géologique profonde en vue de choisir un site et de concevoir le centre de stockage, de telle sorte que la demande d'autorisation de création puisse être instruite en 2015.

Le décret n°2008-357 du 16 avril 2008, pris en application de l'article L542-1-2 du code de l'environnement et fixant les prescriptions relatives au plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, demande que l'ANDRA propose, pour fin 2009, aux ministres chargés de l'énergie, de la recherche et de l'environnement :

- des options de conception, de sûreté opérationnelle et à long terme et de réversibilité ;
- un modèle d'inventaire des déchets à prendre en compte ;
- des options d'entreposage en complément du stockage sur la base du modèle d'inventaire ainsi que les études qui devront être menées sur les évolutions possibles en matières d'entreposage des déchets HA-MAVL.

Par lettre citée en première référence, la Directrice Générale de l'ANDRA m'a adressé, le « Dossier 2009 – Projet HA-MAVL » dont le contenu est conforme aux dispositions du décret n°2008-357 et composé des documents suivants :

- « Options de sûreté du stockage en formation géologique profonde (réf. C.NT.ASSN.09.0029/B) ;
- « Options de conception du stockage en formation géologique profonde » (réf. C.NSY.ASTE.08.0429/A) ;



- « Options de réversibilité du stockage en formation géologique profonde » (réf. C.NT.AHVL.09.0005/B) ;
- « Référentiel de connaissances et modèle d'inventaire des colis de déchets à haute activité et à moyenne activité à vie longue » (réf. C.RP.AHVL.09.0114/A) ;
- « Inventaire des capacités d'entreposage existantes, état d'avancement des études de concepts d'entreposage, propositions d'options à étudier après 2009 » (réf. C.RP.ADP.08.0038/B).

Par ailleurs, le 3 août 1999 l'ANDRA a été autorisée à installer et à exploiter sur le territoire de la commune de Bure (Meuse) un laboratoire souterrain destiné à étudier les formations géologiques profondes dans lesquelles pourraient être stockés des déchets radioactifs. Par décret du 23 décembre 2006, l'ANDRA a été autorisée à prolonger l'exploitation du laboratoire jusqu'au 31 décembre 2011. Par courrier en référence, l'ANDRA a déposé une demande de renouvellement de l'autorisation d'exploiter le laboratoire de recherche souterrain après 2011. Cette demande est accompagnée d'un dossier tel que défini par le décret n° 93-940 du 16 juillet 1993 relatif à l'autorisation d'installation et d'exploitation d'un laboratoire souterrain. Ce dossier comprend un « mémoire » (réf. C.NSY.ADP.09.0027/A) et un « cahier des charges » (réf. D.DO.ASAJ.09.0045/A). Le « mémoire » détaille le programme d'études envisagées dans le laboratoire de recherche souterrain et en surface qui sera conduit pour approfondir la caractérisation du milieu géologique en place, étudier les perturbations induites par la construction, l'exploitation et la fermeture d'un stockage, mais également pour tester la mise en œuvre des solutions techniques étudiées dans le cadre de la conception du stockage et préparer la phase industrielle du projet.

Afin que l'ASN puisse rendre un avis sur la sûreté des options présentées par l'ANDRA et sur la maturité du développement du projet en regard des étapes ultérieures prévues par la loi (dépôt d'un dossier en 2012 en vue du débat public ainsi que dépôt de la demande d'autorisation de création fin 2014), j'ai l'honneur de demander au groupe permanent d'experts que vous présidez de me faire part de votre analyse sur les documents précédemment cités. Je souhaiterais plus particulièrement que le groupe permanent examine, pour ce qui concerne les installations de stockage :

- la pertinence du modèle d'inventaire des colis de déchets en fonction notamment des diverses hypothèses retenues par l'ANDRA sur les prévisions de production des déchets ;
- les options de conception et dispositions générales retenues par l'ANDRA eu égard à la sûreté de l'exploitation de l'installation de stockage (installations souterraines et installations de surface associées), tout en tenant compte des éléments relatifs à la réversibilité du processus. Vous examinerez en particulier les exigences de sûreté retenues à ce stade pour le dimensionnement futur de l'installation et les compléments qu'il apparaît nécessaire d'apporter en vue de la demande de DAC ;
- les évolutions de la conception du stockage par rapport à celle retenue en 2005 et leur caractère favorable à la sûreté du stockage après sa fermeture ;
- les options de réversibilité retenues, notamment le processus décisionnel associé, eu égard à la sûreté de l'installation en exploitation et après fermeture ;

Vous examinerez également la prise en compte par l'ANDRA des recommandations formulées par l'ASN, notamment à l'issue de l'examen du dossier 2005.

Par ailleurs, je souhaite que le groupe permanent examine la pertinence du programme d'expérimentations prévu dans le Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne eu égard à sa capacité d'apporter en temps voulu les éléments nécessaires à la démonstration de la sûreté du stockage et de la faisabilité technique des options retenues, et la cohérence de son planning avec le calendrier de développement du projet du stockage (DAC, construction, mise en service,...).

Je souhaite enfin que le groupe permanent examine les options de sûreté retenues pour les installations de surface et les options de gestion des entreposages des colis préalablement à leur stockage eu égard aux capacités existantes ou prévues par les principaux exploitants.

Je souhaite que vous associez à cet examen un certain nombre d'experts du groupe permanent « usines ».

Je vous prie de bien vouloir convier les divisions de l'ASN de Châlons-en-Champagne et de Strasbourg, et la direction des installations de recherche et des déchets aux travaux menés par le groupe permanent d'experts que vous présidez

Il serait souhaitable que le groupe permanent d'experts se réunisse au plus tard d'ici le début du mois de décembre 2010.

 le directeur général

  
J.-C. NIEL

**ANNEXE 2 - LOI N° 2006-739 DU 28 JUIN 2006**

**Loi de programme relative à la gestion durable des matières et  
déchets radioactifs**

# LOIS

## LOI n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs (1)

NOR : ECOX0600036L

L'Assemblée nationale et le Sénat ont adopté,  
Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

### TITRE I<sup>er</sup>

#### POLITIQUE NATIONALE POUR LA GESTION DURABLE DES MATIÈRES ET DES DÉCHETS RADIOACTIFS

##### Article 1<sup>er</sup>

L'intitulé du chapitre II du titre IV du livre V du code de l'environnement est ainsi rédigé : « Dispositions particulières à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs ».

##### Article 2

L'article L. 542-1 du code de l'environnement est ainsi rédigé :

« *Art. L. 542-1.* – La gestion durable des matières et des déchets radioactifs de toute nature, résultant notamment de l'exploitation ou du démantèlement d'installations utilisant des sources ou des matières radioactives, est assurée dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement.

« La recherche et la mise en œuvre des moyens nécessaires à la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs sont entreprises afin de prévenir ou de limiter les charges qui seront supportées par les générations futures.

« Les producteurs de combustibles usés et de déchets radioactifs sont responsables de ces substances, sans préjudice de la responsabilité de leurs détenteurs en tant que responsables d'activités nucléaires. »

##### Article 3

Pour assurer, dans le respect des principes énoncés à l'article L. 542-1 du code de l'environnement, la gestion des déchets radioactifs à vie longue de haute ou de moyenne activité, les recherches et études relatives à ces déchets sont poursuivies selon les trois axes complémentaires suivants :

1° La séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue. Les études et recherches correspondantes sont conduites en relation avec celles menées sur les nouvelles générations de réacteurs nucléaires mentionnés à l'article 5 de la loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique ainsi que sur les réacteurs pilotés par accélérateur 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 avant le 31 décembre 2020 ;

2° Le stockage réversible en couche géologique profonde. 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 prévue à l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement puisse être instruite en 2015 et, sous réserve de cette autorisation, le centre mis en exploitation en 2025 ;

3° L'entreposage. Les études et les recherches correspondantes sont conduites en vue, au plus tard en 2015, de créer de nouvelles installations d'entreposage ou de modifier des installations existantes, pour répondre aux besoins, notamment en termes de capacité et de durée, recensés par le plan prévu à l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement.

##### Article 4

Pour assurer, dans le respect des principes énoncés à l'article L. 542-1 du code de l'environnement, la gestion des matières et des déchets radioactifs autres que ceux mentionnés à l'article 3 de la présente loi, il est institué un programme de recherche et d'études dont les objectifs sont les suivants :

1° La mise au point de solutions de stockage pour les déchets graphites et les déchets radifères, de sorte que le centre de stockage correspondant puisse être mis en service en 2013 ;

2° La mise au point pour 2008 de solutions d'entreposage des déchets contenant du tritium permettant la réduction de leur radioactivité avant leur stockage en surface ou à faible profondeur ;

3° La finalisation pour 2008 de procédés permettant le stockage des sources scellées usagées dans des centres existants ou à construire ;

4° Un bilan en 2009 des solutions de gestion à court et à long terme des déchets à radioactivité naturelle renforcée, proposant, s'il y a lieu, de nouvelles solutions ;

5° Un bilan en 2008 de l'impact à long terme des sites de stockage de résidus miniers d'uranium et la mise en œuvre d'un plan de surveillance radiologique renforcée de ces sites.

### Article 5

Après l'article L. 542-1 du code de l'environnement, il est inséré un article L. 542-1-1 ainsi rédigé :

« *Art. L. 542-1-1.* – Le présent chapitre s'applique aux substances radioactives issues d'une activité nucléaire visée à l'article L. 1333-1 du code de la santé publique ou d'une activité comparable exercée à l'étranger ainsi que d'une entreprise mentionnée à l'article L. 1333-10 du même code ou d'une entreprise comparable située à l'étranger.

« Une substance radioactive est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection.

« Une matière radioactive est une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement.

« Un combustible nucléaire est regardé comme un combustible utilisé lorsque, après avoir été irradié dans le cœur d'un réacteur, il en est définitivement retiré.

« Les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée.

« 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.

« L'entreposage de matières ou de déchets radioactifs est l'opération consistant à placer ces substances à titre temporaire dans une installation spécialement aménagée en surface ou en faible profondeur à cet effet, dans l'attente de les récupérer.

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

« 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. »

### Article 6

I. – Après l'article L. 542-1 du code de l'environnement, il est inséré un article L. 542-1-2 ainsi rédigé :

« *Art. L. 542-1-2.* – I. – Un 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.

« Conformément aux orientations définies aux articles 3 et 4 de la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs, le plan national organise la mise en œuvre des recherches et études sur la gestion des matières et des déchets radioactifs en fixant des échéances pour la mise en œuvre de nouveaux modes de gestion, la création d'installations ou la modification des installations existantes de nature à répondre aux besoins et aux objectifs définis au premier alinéa.

« Il comporte, en annexe, une synthèse des réalisations et des recherches conduites dans les pays étrangers.

« II. – Le plan national et le décret qui en établit les prescriptions respectent les orientations suivantes :

« 1° La réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs est recherchée notamment par le traitement des combustibles usés et le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs ;

« 2° Les matières radioactives en attente de traitement et les déchets radioactifs ultimes en attente d'un stockage sont entreposés dans des installations spécialement aménagées à cet usage ;

« 3° 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.

« III. – Le plan national est établi et mis à jour tous les trois ans par le Gouvernement. Il est transmis au Parlement, qui en saisit pour évaluation l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, et rendu public.

« IV. – Les décisions prises par les autorités administratives, notamment les autorisations mentionnées à l'article L. 1333-4 du code de la santé publique, doivent être compatibles avec les prescriptions du décret prévu au II du présent article. »

II. – Le plan national prévu à l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement est établi pour la première fois avant le 31 décembre 2006.

#### Article 7

Les propriétaires de déchets de moyenne activité à vie longue produits avant 2015 les conditionnent au plus tard en 2030.

#### Article 8

I. – L'article L. 542-2 du code de l'environnement est ainsi rédigé :

« Art. L. 542-2. – Est interdit le stockage en France de déchets radioactifs en provenance de l'étranger ainsi que celui des déchets radioactifs issus du traitement de combustibles usés et de déchets radioactifs provenant de l'étranger. »

II. – Après l'article L. 542-2 du même code, sont insérés deux articles L. 542-2-1 et L. 542-2-2 ainsi rédigés :

« Art. L. 542-2-1. – I. – Des combustibles usés ou des déchets radioactifs ne peuvent être introduits sur le territoire national qu'à des fins de traitement, de recherche ou de transfert entre Etats étrangers.

« L'introduction à des fins de traitement ne peut être autorisée que dans le cadre d'accords intergouvernementaux et qu'à la condition que les déchets radioactifs issus après traitement de ces substances ne soient pas entreposés en France au-delà d'une date fixée par ces accords. L'accord indique les périodes prévisionnelles de réception et de traitement de ces substances et, s'il y a lieu, les perspectives d'utilisation ultérieure des matières radioactives séparées lors du traitement.

« Le texte de ces accords intergouvernementaux est publié au *Journal officiel*.

« II. – Les exploitants d'installations de traitement et de recherche établissent, tiennent à jour et mettent à la disposition des autorités de contrôle les informations relatives aux opérations portant sur des combustibles usés ou des déchets radioactifs en provenance de l'étranger. Ils remettent chaque année au ministre chargé de l'énergie un rapport comportant l'inventaire des combustibles usés et des déchets radioactifs en provenance de l'étranger ainsi que des matières et des déchets radioactifs qui en sont issus après traitement qu'ils détiennent, et leurs prévisions relatives aux opérations de cette nature. Ce rapport est rendu public.

« Art. L. 542-2-2. – I. – La méconnaissance des prescriptions des articles L. 542-2 et L. 542-2-1 est constatée, dans les conditions prévues à l'article L. 541-45, par les fonctionnaires et agents mentionnés aux 1<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup>, 6<sup>o</sup> et 8<sup>o</sup> de l'article L. 541-44 ainsi que par les inspecteurs de la sûreté nucléaire et par des fonctionnaires et agents habilités à cet effet par le ministre chargé de l'énergie et assermentés.

« II. – La méconnaissance des prescriptions de l'article L. 542-2 et du I de l'article L. 542-2-1 est punie des peines prévues à l'article L. 541-46. En outre, sans préjudice de l'application des sanctions prévues au 8<sup>o</sup> de cet article, l'autorité administrative peut prononcer une sanction pécuniaire au plus égale, dans la limite de dix millions d'euros, au cinquième du revenu tiré des opérations réalisées irrégulièrement. La décision prononçant la sanction est publiée au *Journal officiel*.

« En cas de manquement aux obligations définies au II de l'article L. 542-2-1, l'autorité administrative peut prononcer une sanction pécuniaire au plus égale à 150 000 €.

« Les sommes sont recouvrées comme les créances de l'Etat étrangères à l'impôt et au domaine.

« Ces sanctions peuvent faire l'objet d'un recours de pleine juridiction. »

#### Article 9

I. – L'article L. 542-3 du code de l'environnement est ainsi modifié :

1<sup>o</sup> Les I à V sont abrogés ;

2<sup>o</sup> Le premier alinéa du VI est remplacé par deux alinéas ainsi rédigés :

« Une commission nationale est chargée d'évaluer annuellement l'état d'avancement des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs par référence aux orientations fixées par le plan national prévu à l'article L. 542-1-2. Cette évaluation donne lieu à un rapport annuel qui fait également état des recherches effectuées à l'étranger. Il est transmis au Parlement, qui en saisit l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, et il est rendu public.

« La commission est composée des membres suivants, nommés pour six ans : » ;

3<sup>o</sup> Dans le 2<sup>o</sup> du même VI, les mots : « sur proposition de Conseil supérieur de la sûreté et de l'information nucléaires » sont remplacés par les mots : « sur proposition de l'Académie des sciences morales et politiques » ;

4<sup>o</sup> Dans le dernier alinéa du même VI, après les mots : « experts scientifiques », sont insérés les mots : « , dont au moins un expert international » ;

5<sup>o</sup> Le même VI est complété par cinq alinéas ainsi rédigés :

« Le mandat des membres de la commission est renouvelable une fois.

« La commission est renouvelée par moitié tous les trois ans. Pour la constitution initiale de la commission, le mandat de six de ses membres, désignés par tirage au sort, est fixé à trois ans.

« Le président de la commission est élu par les membres de celle-ci lors de chaque renouvellement triennal.

« Les membres de la commission exercent leurs fonctions en toute impartialité. Ils ne peuvent, directement ou indirectement, exercer de fonctions ni recevoir d'honoraires au sein ou en provenance des organismes évalués et des entreprises ou établissements producteurs ou détenteurs de déchets.

« Les organismes de recherche fournissent à la commission tout document nécessaire à sa mission. »

II. – La commission nationale mentionnée à l'article L. 542-3 du code de l'environnement établit son premier rapport avant le 30 juin 2007.

### Article 10

Le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, créé par l'article 23 de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire, organise périodiquement des concertations et des débats concernant la gestion durable des matières et des déchets nucléaires radioactifs.

## TITRE II

### ORGANISATION ET FINANCEMENTS DE LA GESTION DURABLE DES MATIÈRES ET DES DÉCHETS RADIOACTIFS

#### Article 11

Dans l'article L. 542-6 du code de l'environnement, les mots : « des laboratoires » sont remplacés par les mots : « d'un laboratoire souterrain ou d'un centre de stockage en couche géologique profonde ».

#### Article 12

Après l'article L. 542-10 du code de l'environnement, il est inséré un article L. 542-10-1 ainsi rédigé :

« *Art. L. 542-10-1.* – Un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs est une installation nucléaire de base.

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

« – la demande d'autorisation de création doit concerner une couche géologique ayant fait l'objet d'études au moyen d'un laboratoire souterrain ;

« – le dépôt de la demande d'autorisation de création du centre est précédé d'un débat public au sens de l'article L. 121-1 sur la base d'un dossier réalisé par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs créée à l'article L. 542-12 ;

« – la demande d'autorisation de création du centre donne lieu à un rapport de la commission nationale mentionnée à l'article L. 542-3, à un avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et au recueil de l'avis des collectivités territoriales situées en tout ou partie dans une zone de consultation définie par décret ;

« – la demande est transmise, accompagnée du compte rendu du débat public, du rapport de la commission nationale mentionnée à l'article L. 542-3 et de l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire, à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, qui l'évalue et rend compte de ses travaux aux commissions compétentes de l'Assemblée nationale et du Sénat ;

« – le Gouvernement présente ensuite un projet de loi fixant les conditions de réversibilité. Après promulgation de cette loi, l'autorisation de création du centre peut être délivrée par décret en Conseil d'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.

« Les dispositions des articles L. 542-8 et L. 542-9 sont applicables à l'autorisation. »

#### Article 13

L'article L. 542-11 du code de l'environnement est ainsi rédigé :

« *Art. L. 542-11.* – Dans tout département sur le territoire duquel est situé tout ou partie du périmètre d'un laboratoire souterrain ou d'un centre de stockage en couche géologique profonde défini à l'article L. 542-9, un groupement d'intérêt public est constitué en vue :

« 1° De gérer des équipements de nature à favoriser et à faciliter l'installation et l'exploitation du laboratoire ou du centre de stockage ;

« 2° De mener, dans les limites de son département, des actions d'aménagement du territoire et de développement économique, particulièrement dans la zone de proximité du laboratoire souterrain ou du centre de stockage dont le périmètre est défini par décret pris après consultation des conseils généraux concernés ;

« 3° De soutenir des actions de formation ainsi que des actions en faveur du développement, de la valorisation et de la diffusion de connaissances scientifiques et technologiques, notamment dans les domaines étudiés au sein du laboratoire souterrain et dans ceux des nouvelles technologies de l'énergie.

« Outre l'Etat et le titulaire des autorisations prévues aux articles L. 542-7 ou L. 542-10-1, peuvent adhérer de plein droit au groupement d'intérêt public la région, le département, les communes ou leurs groupements en tout ou partie situés dans la zone de proximité mentionnée au 2°.

« Les membres de droit du groupement d'intérêt public peuvent décider l'adhésion en son sein de communes ou de leurs groupements situés dans le même département et hors de la zone de proximité définie au 2°, dans la mesure où lesdites communes ou groupements justifient d'être effectivement concernés par la vie quotidienne du laboratoire ou du centre de stockage.

« Les dispositions des articles L. 341-2 à L. 341-4 du code de la recherche sont applicables au groupement.

« Pour financer les actions visées aux 1° et 2° du présent article, le groupement bénéficie d'une partie du produit de la taxe additionnelle dite "d'accompagnement" à la taxe sur les installations nucléaires de base prévue au V de l'article 43 de la loi de finances pour 2000 (n° 99-1172 du 30 décembre 1999), à laquelle il peut, pour les exercices budgétaires des années 2007 à 2016, ajouter une fraction, dans la limite de 80 %, de la partie du produit de la taxe additionnelle dite de "diffusion technologique" à ladite taxe sur les installations nucléaires de base dont il bénéficie. Pour financer les actions visées au 3° du présent article, le groupement bénéficie d'une partie du produit de la taxe additionnelle dite de "diffusion technologique", à laquelle il peut, pour les exercices budgétaires des années 2007 à 2016, ajouter une fraction, dans la limite de 80 %, de la partie du produit de la taxe additionnelle dite "d'accompagnement".

« Les personnes redevables de ces taxes additionnelles publient un rapport annuel sur les activités économiques qu'elles conduisent dans les départements visés au premier alinéa. »

#### Article 14

Les 1° à 5° de l'article L. 542-12 du code de l'environnement sont remplacés par onze alinéas ainsi rédigés :

« 1° 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, les déchets visés à l'article L. 542-2-1 étant listés par pays ;

« 2° De réaliser ou faire réaliser, conformément au plan national prévu à l'article L. 542-1-2, des recherches et études sur l'entreposage et le stockage en couche géologique profonde et d'assurer leur coordination ;

« 3° De contribuer, dans les conditions définies à l'avant-dernier alinéa du présent article, à l'évaluation des coûts afférents à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et de moyenne activité à vie longue, selon leur nature ;

« 4° De prévoir, dans le respect des règles de sûreté nucléaire, les spécifications pour le stockage des déchets radioactifs et de donner aux autorités administratives compétentes un avis sur les spécifications pour le conditionnement des déchets ;

« 5° De concevoir, d'implanter, de réaliser et d'assurer la gestion de centres d'entreposage ou des centres de stockage de déchets radioactifs compte tenu des perspectives à long terme de production et de gestion de ces déchets ainsi que d'effectuer à ces fins toutes les études nécessaires ;

« 6° D'assurer la collecte, le transport et la prise en charge de déchets radioactifs et la remise en état de sites de pollution radioactive sur demande et aux frais de leurs responsables ou sur réquisition publique lorsque les responsables de ces déchets ou de ces sites sont défaillants ;

« 7° De mettre à la disposition du public des informations relatives à la gestion des déchets radioactifs et de participer à la diffusion de la culture scientifique et technologique dans ce domaine ;

« 8° De diffuser à l'étranger son savoir-faire.

« L'agence peut obtenir le remboursement des frais exposés pour la gestion des déchets radioactifs pris en charge sur réquisition publique des responsables de ces déchets qui viendraient à être identifiés ou qui reviendraient à meilleure fortune.

« L'agence propose au ministre chargé de l'énergie une évaluation des coûts afférents à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et de moyenne activité à vie longue selon leur nature. Après avoir recueilli les observations des redevables des taxes additionnelles mentionnées au V de l'article 43 de la loi de finances pour 2000 (n° 99-1172 du 30 décembre 1999) et l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire, le ministre chargé de l'énergie arrête l'évaluation de ces coûts et la rend publique.

« L'agence peut conduire, avec toute personne intéressée, des actions communes d'information du public et de diffusion de la culture scientifique et technologique. »



### Article 15

Après l'article L. 542-12 du code de l'environnement, il est inséré un article L. 542-12-1 ainsi rédigé :

« *Art. L. 542-12-1.* – Il est institué, au sein de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, un fonds destiné au financement des recherches et études sur l'entreposage et le stockage en couche géologique profonde des déchets radioactifs. Les opérations de ce fonds font l'objet d'une comptabilisation distincte permettant d'individualiser les ressources et les emplois du fonds au sein du budget de l'agence. Le fonds a pour ressources le produit de la taxe dite de "recherche" additionnelle à la taxe sur les installations nucléaires de base prévue au V de l'article 43 de la loi de finances pour 2000 (n° 99-1172 du 30 décembre 1999).

« L'agence dispose d'une subvention de l'Etat qui contribue au financement des missions d'intérêt général qui lui sont confiées en application des dispositions des 1° et 6° de l'article L. 542-12. »

### Article 16

Après l'article L. 542-12 du code de l'environnement, il est inséré un article L. 542-12-2 ainsi rédigé :

« *Art. L. 542-12-2.* – Il est institué, au sein de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, un fonds destiné au financement de la construction, de l'exploitation, de l'arrêt définitif, de l'entretien et de la surveillance des installations d'entreposage ou de stockage des déchets de haute ou de moyenne activité à vie longue construites ou exploitées par l'agence. Les opérations de ce fonds font l'objet d'une comptabilisation distincte permettant d'individualiser les ressources et les emplois du fonds au sein du budget de l'agence. Le fonds a pour ressources les contributions des exploitants d'installations nucléaires de base définies par des conventions.

« Si l'autorité administrative constate que l'application des dispositions de l'article 20 de la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs est susceptible d'être entravée, elle peut imposer, le cas échéant sous astreinte, à l'exploitant d'une installation nucléaire de base de verser au fonds les sommes nécessaires à la couverture des charges mentionnées au I du même article 20. »

### Article 17

Les subventions de l'Etat aux organismes participant aux recherches mentionnées au 1° de l'article 3 sont complétées par des contributions des exploitants d'installations nucléaires de base définies par convention entre ces organismes et eux.

### Article 18

L'article L. 542-13 du code de l'environnement est ainsi modifié :

1° Le premier alinéa est ainsi rédigé :

« Il est créé, auprès de tout laboratoire souterrain, un comité local d'information et de suivi chargé d'une mission générale de suivi, d'information et de concertation en matière de recherche sur la gestion des déchets radioactifs et, en particulier, sur le stockage de ces déchets en couche géologique profonde. » ;

2° Les deuxième et troisième alinéas sont ainsi rédigés :

« Ce comité comprend des représentants de l'Etat, deux députés et deux sénateurs désignés par leur assemblée respective, des élus des collectivités territoriales consultées à l'occasion de l'enquête publique ou concernées par les travaux de recherche préliminaires prévus à l'article L. 542-6, des représentants d'associations de protection de l'environnement, de syndicats agricoles, d'organisations professionnelles, d'organisations syndicales de salariés représentatives et de professions médicales, des personnalités qualifiées ainsi que le titulaire de l'autorisation prévue à l'article L. 542-10-1.

« Il peut être doté de la personnalité juridique avec un statut d'association. Il est présidé par un de ses membres, élu national ou local, nommé par décision conjointe des présidents des conseils généraux des départements sur lesquels s'étend le périmètre du laboratoire. » ;

3° Dans la dernière phrase du quatrième alinéa, les mots : « d'évaluation » sont supprimés ;

4° La dernière phrase du quatrième alinéa est complétée par les mots : « et le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire créé par l'article 23 de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire » ;

5° Le quatrième alinéa est complété par une phrase ainsi rédigée : « La commission nationale présente chaque année, devant le comité local d'information et de suivi, son rapport d'évaluation sur l'état d'avancement des recherches dans les trois axes de recherche définis par l'article 3 de la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs. » ;

6° Après le quatrième alinéa, il est inséré un alinéa ainsi rédigé :

« La commission locale d'information et de suivi et le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire créé par l'article 23 de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 précitée se communiquent tous les renseignements utiles à l'exercice de leurs missions et concourent à des actions communes d'information. » ;

7° Après le mot : « sont », la fin du dernier alinéa est ainsi rédigée : « financés à parité d'une part par des subventions de l'Etat, d'autre part par des subventions des entreprises concernées par l'activité de stockage des déchets radioactifs en couche géologique profonde. »

#### Article 19

Le dernier alinéa de l'article L. 515-7 du code de l'environnement est ainsi rédigé :

« Les dispositions du présent article ne s'appliquent pas au stockage des déchets radioactifs. »

#### Article 20

I. – Les exploitants d'installations nucléaires de base évaluent, de manière prudente, les charges de démantèlement de leurs installations ou, pour leurs installations de stockage de déchets radioactifs, leurs charges d'arrêt définitif, d'entretien et de surveillance. Ils évaluent de la même manière, en prenant notamment en compte l'évaluation fixée en application de l'article L. 542-12 du code de l'environnement, les charges de gestion de leurs combustibles usés et déchets radioactifs.

II. – Les exploitants d'installations nucléaires de base constituent les provisions afférentes aux charges mentionnées au I et affectent à titre exclusif à la couverture de ces provisions les actifs nécessaires.

Ils comptabilisent de façon distincte ces actifs qui doivent présenter un degré de sécurité et de liquidité suffisant pour répondre à leur objet. Leur valeur de réalisation est au moins égale au montant des provisions mentionnées au premier alinéa du présent II, à l'exclusion de celles liées au cycle d'exploitation.

A l'exception de l'Etat dans l'exercice des pouvoirs dont il dispose pour faire respecter par les exploitants leurs obligations de démantèlement de leurs installations et de gestion de leurs combustibles usés et déchets radioactifs, nul ne peut se prévaloir d'un droit sur les actifs mentionnés au premier alinéa du présent II, y compris sur le fondement du livre VI du code de commerce.

III. – Les exploitants transmettent tous les trois ans à l'autorité administrative un rapport décrivant l'évaluation des charges mentionnées au I, les méthodes appliquées pour le calcul des provisions afférentes à ces charges et les choix retenus en ce qui concerne la composition et la gestion des actifs affectés à la couverture des provisions. Ils transmettent tous les ans à l'autorité administrative une note d'actualisation de ce rapport et l'informent sans délai de tout événement de nature à en modifier le contenu. Ils communiquent à sa demande à l'autorité administrative copie de tous documents comptables ou pièces justificatives.

Si l'autorité administrative relève une insuffisance ou une inadéquation dans l'évaluation des charges, le calcul des provisions ou le montant, la composition ou la gestion des actifs affectés à ces provisions, elle peut, après avoir recueilli les observations de l'exploitant, prescrire les mesures nécessaires à la régularisation de sa situation en fixant les délais dans lesquels celui-ci doit les mettre en œuvre.

En cas d'inexécution de ces prescriptions dans le délai imparti, l'autorité administrative peut ordonner, sous astreinte, la constitution des actifs nécessaires ainsi que toute mesure relative à leur gestion.

Les exploitants transmettent, au plus tard dans un délai d'un an à compter de la publication de la présente loi, leur premier rapport triennal mentionné au premier alinéa du présent III. Ce premier rapport comprend, outre les éléments prévus au premier alinéa du présent III, un plan de constitution des actifs définis au II du présent article.

Les exploitants mettent en œuvre le plan de constitution d'actifs au plus tard dans un délai de cinq ans à compter de la publication de la présente loi.

IV. – Il est créé une Commission nationale d'évaluation du financement des charges de démantèlement des installations nucléaires de base et de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs.

La commission évalue le contrôle de l'adéquation des provisions prévues au II aux charges mentionnées au I et de la gestion des actifs visés au II ainsi que la gestion des fonds mentionnés aux articles L. 542-12-1 et L. 542-12-2 du code de l'environnement.

Elle peut, à tout moment, adresser au Parlement et au Gouvernement des avis sur les questions relevant de sa compétence. Ses avis peuvent être rendus publics. Elle remet au Parlement et au Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire créé par l'article 23 de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire, tous les trois ans, un rapport présentant l'évaluation mentionnée à l'alinéa précédent. Ce rapport est rendu public.

La commission est composée :

1° Des présidents des commissions de l'Assemblée nationale et du Sénat compétentes en matière d'énergie ou chargées des finances, ou de leur représentant ;

2° De quatre personnalités qualifiées désignées à parité par l'Assemblée nationale et par le Sénat ;

3° De quatre personnalités qualifiées désignées par le Gouvernement.

Les personnalités qualifiées sont désignées pour six ans.

La commission reçoit communication des rapports mentionnés au III. Elle peut demander aux exploitants communication de tous documents nécessaires à l'accomplissement de ses missions. Elle peut entendre l'autorité administrative mentionnée au III.

La commission remet son premier rapport au plus tard dans un délai de deux ans à compter de la publication de la présente loi.

Pendant la durée de leurs fonctions, les personnalités qualifiées membres de la commission ne prennent aucune position publique sur des sujets relevant de la compétence de celle-ci. Pendant la durée de leurs fonctions et après celle-ci, les membres de la commission sont tenus au secret professionnel pour les faits, actes et renseignements dont ils ont pu avoir connaissance en raison de leurs fonctions.

Les membres de la commission ne peuvent, directement ou indirectement, exercer de fonctions ni recevoir d'honoraires au sein ou en provenance des exploitants d'installations nucléaires de base ou d'autres entreprises du secteur de l'énergie.

V. – Un décret détermine, en tant que de besoin, les conditions et modalités d'application du présent article, notamment dans le respect des normes comptables applicables, les modalités d'évaluation des charges mentionnées au I et de calcul des provisions prévues au II, ainsi que les informations que les exploitants sont tenus de rendre publiques et les règles de publicité y afférentes.

Le présent article, à l'exception des dispositions du I, n'est pas applicable aux installations nucléaires de base exploitées directement par l'Etat. Les personnes n'exploitant plus d'installation nucléaire de base sont assimilées, pour l'application des dispositions du présent article relatives à la gestion de leurs combustibles usés et déchets radioactifs, aux exploitants de telles installations.

### Article 21

I. – L'article 43 de la loi de finances pour 2000 (n° 99-1172 du 30 décembre 1999) est complété par un V ainsi rédigé :

« V. – Il est créé trois taxes additionnelles à la taxe sur les installations nucléaires de base. Le montant de ces taxes additionnelles, dites respectivement de "recherche", "d'accompagnement" et de "diffusion technologique", est déterminé, selon chaque catégorie d'installations, par application d'un coefficient multiplicateur à une somme forfaitaire. Les coefficients sont fixés par décret en Conseil d'Etat après avis des conseils généraux concernés et des groupements d'intérêt public définis à l'article L. 542-11 du code de l'environnement pour ce qui concerne les taxes dites "d'accompagnement" et de "diffusion technologique", dans les limites indiquées dans le tableau ci-dessous et des besoins de financement, en fonction des quantités et de la toxicité des colis de déchets radioactifs produits et à produire ne pouvant pas être stockés en surface ou en faible profondeur que peut produire chaque catégorie d'installations.

CATÉGORIE	SOMMES FORFAITAIRES Déchets (en millions d'euros)	COEFFICIENT MULTIPLICATEUR		
		Recherche	Accompagnement	Diffusion technologique
Réacteurs nucléaires de production d'énergie autres que ceux consacrés à titre principal à la recherche (par tranche).....	0,28	[0,5-5]	[0,6-2]	[0,6-1]
Réacteurs nucléaires de production d'énergie consacrés à titre principal à la recherche.....	0,25	[0,5-5]	[0,6-2]	[0,6-1]
Autres réacteurs nucléaires.....	0,25	[0,5-5]	[0,6-2]	[0,6-1]
Usines de traitement de combustibles nucléaires usés.....	0,28	[0,5-5]	[0,6-2]	[0,6-1]

« Les taxes additionnelles sont recouvrées dans les mêmes conditions et sous les mêmes sanctions que la taxe sur les installations nucléaires de base.

« Sous déduction des frais de collecte fixés à 1 % des sommes recouvrées, le produit de la taxe additionnelle dite de "recherche" est reversé à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.

« Sous déduction des frais de collecte fixés à 1 % des sommes recouvrées, le produit de la taxe additionnelle dite "d'accompagnement" est réparti, à égalité, en un nombre de parts égal au nombre de départements mentionnés à l'article L. 542-11 du code de l'environnement. Une fraction de chacune de ces parts, déterminée par décret en Conseil d'Etat dans la limite de 20 %, est reversée par les groupements d'intérêt public mentionnés au même article L. 542-11, au prorata de leur population, aux communes du département dont une partie du territoire est distante de moins de 10 kilomètres de l'accès principal aux installations souterraines d'un laboratoire souterrain mentionné à l'article L. 542-4 du même code ou d'un centre de stockage en couche géologique profonde mentionné à l'article L. 542-10-1 du même code. Le solde de chacune de ces parts est reversé au groupement d'intérêt public mentionné à l'article L. 542-11 du même code.

« Sous déduction des frais de collecte fixés à 1 % des sommes recouvrées, le produit de la taxe additionnelle dite de "diffusion technologique" est reversé aux groupements d'intérêt public mentionnés à l'article L. 542-11 du même code à égalité entre eux. »

II. – Les dispositions du I sont applicables à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2007.

### TITRE III CONTRÔLES ET SANCTIONS

#### Article 22

Tout responsable d'activités nucléaires et toute entreprise mentionnée à l'article L. 1333-10 du code de la santé publique est tenu d'établir, de tenir à jour et de mettre à la disposition de l'autorité administrative et, pour ce qui relève de sa compétence, de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, les informations nécessaires à l'application et au contrôle des dispositions de la présente loi.

Sans préjudice des dispositions du III de l'article 20, un décret en Conseil d'Etat précise celles de ces informations qui font l'objet d'une transmission périodique à l'autorité administrative ou à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.

#### Article 23

En cas de manquement de l'exploitant d'une installation nucléaire de base aux obligations définies aux I et II de l'article 20, l'autorité administrative peut, sans préjudice des mesures prévues au III du même article, prononcer une sanction pécuniaire dont le montant n'excède pas 5 % de la différence entre le montant des actifs constitués par l'exploitant d'une installation nucléaire de base et celui prescrit par l'autorité administrative. La décision prononçant la sanction est publiée au *Journal officiel*.

En cas de manquement aux obligations d'information prévues au III de l'article 20 et à l'article 22, l'autorité administrative peut prononcer une sanction pécuniaire au plus égale à 150 000 €.

Les sommes sont recouvrées comme les créances de l'Etat étrangères à l'impôt et au domaine.

Les sanctions prévues au présent article peuvent faire l'objet d'un recours de pleine juridiction.

#### Article 24

Un décret en Conseil d'Etat fixe, en tant que de besoin, les modalités d'application de la présente loi. La présente loi sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Paris, le 28 juin 2006.

JACQUES CHIRAC

Par le Président de la République :

*Le Premier ministre,*

DOMINIQUE DE VILLEPIN

*Le ministre d'Etat,  
ministre de l'intérieur  
et de l'aménagement du territoire,*  
NICOLAS SARKOZY

*La ministre de la défense,*  
MICHÈLE ALLIOT-MARIE

*Le ministre des affaires étrangères,*  
PHILIPPE DOUSTE-BLAZY

*Le ministre de l'économie,  
des finances et de l'industrie,*  
THIERRY BRETON

*Le ministre de l'éducation nationale,  
de l'enseignement supérieur  
et de la recherche,*  
GILLES DE ROBIEN

*Le ministre de la santé et des solidarités,*  
XAVIER BERTRAND

*La ministre de l'écologie  
et du développement durable,*  
NELLY OLIN

*Le ministre délégué  
à l'enseignement supérieur  
et à la recherche,*  
FRANÇOIS GOULARD

*Le ministre délégué à l'industrie,*  
FRANÇOIS LOOS

---

(1) Travaux préparatoires : loi n° 2006-739.

*Assemblée nationale :*

Projet de loi n° 2977 ;

Rapport de M. Claude Birraux, au nom de la commission des affaires économiques, n° 3003 ;

Discussion les 6, 11 et 12 avril 2006 et adoption, après déclaration d'urgence, le 12 avril 2006.

*Sénat :*

Projet de loi, adopté par l'Assemblée nationale, n° 315 (2005-2006) ;

Rapport de M. Henri Revol, au nom de la commission des affaires économiques, n° 358 (2005-2006) ;

Discussion le 30 mai 2006 et adoption le 31 mai 2006.

*Assemblée nationale :*

Projet de loi, modifié par le Sénat, n° 3121 ;

Rapport de M. Claude Birraux, au nom de la commission des affaires économiques, n° 3154 ;

Discussion et adoption le 15 juin 2006.



ANNEXE 3 - DECRET N° 2008-357 DU 16 AVRIL 2008

# Décrets, arrêtés, circulaires

## TEXTES GÉNÉRAUX

### MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

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

NOR : DEVE0760018D

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre d'Etat, ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, et de la ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche,

Vu le code de l'environnement, notamment ses articles L. 542-1 et suivants ;

Vu le code de la recherche, notamment ses articles L. 332-1 et suivants ;

Vu le code de la santé publique, notamment ses articles L. 1333-4 et suivants ;

Vu la loi n° 2001-398 du 9 mai 2001 créant une Agence française de sécurité sanitaire environnementale ;

Vu la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et la sécurité en matière nucléaire ;

Vu la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs ;

Vu le décret n° 92-1391 du 30 décembre 1992 modifié relatif à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs ;

Vu le décret n° 2006-672 du 8 juin 2006 relatif à la création, à la composition et au fonctionnement de commissions administratives à caractère consultatif ;

Vu l'avis de l'administrateur général du Commissariat à l'énergie atomique du 30 mars 2007 ;

Vu l'avis du Comité de l'énergie atomique du 2 avril 2007 ;

Vu l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire du 4 avril 2007,

Décète :

**Art. 1<sup>er</sup>.** – Les dispositions du présent décret s'appliquent aux matières et aux déchets radioactifs tels que définis à l'article L. 542-1-1 du code de l'environnement.

**Art. 2.** – Les déchets radioactifs sont classés en fonction de différents critères comprenant notamment la période et les niveaux d'activité des principaux radionucléides qu'ils contiennent, mais aussi leurs caractéristiques physiques et chimiques et leur origine.

La vérification de la pertinence des critères de classement des déchets est effectuée *a posteriori* par les exploitants des installations de traitement, d'entreposage ou de stockage des déchets en regard de la démonstration de la sûreté de leurs installations, en tenant compte de la totalité des quantités existantes et prévues. Cette vérification conduit à l'élaboration de spécifications d'acceptation des déchets pour les différentes catégories de déchets.

Les solutions de gestion développées pour les différentes catégories de déchets sont décrites en annexe au présent décret.

Les déchets radioactifs sont inventoriés par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA), sur la base d'une déclaration de chaque producteur ou détenteur de déchets radioactifs.

Chaque producteur ou détenteur de déchets radioactifs précise dans sa déclaration les types d'entreposage utilisés, leurs durées de vie prévisionnelles et les capacités disponibles dans l'hypothèse où les solutions de gestion définitive de ces déchets sont encore à l'état de projet.

Chaque producteur ou détenteur de déchets radioactifs, lors de la déclaration, propose à l'ANDRA le classement de ces déchets selon la classification figurant en annexe. Avant de les introduire dans l'Inventaire national des matières et des déchets radioactifs, l'ANDRA vérifie la pertinence de leur classement.

**Art. 3.** – Les producteurs et les détenteurs de déchets radioactifs ont la responsabilité d'en assurer ou d'en faire assurer la gestion selon les orientations énoncées à l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement.



A cette fin :

1° La cohérence du dispositif de gestion des déchets radioactifs doit être recherchée, de même que son optimisation technique et économique ;

2° Les centres de stockage de déchets radioactifs, peu nombreux et aux capacités limitées, doivent être utilisés au mieux par les différents acteurs ;

3° Les filières de gestion des déchets radioactifs prennent en compte les volumes de déchets transportés et les distances à parcourir entre les lieux d'entreposage et les lieux de stockage.

**Art. 4.** – Les déchets radioactifs à très courte durée de vie, quelle que soit leur activité, sont gérés par décroissance radioactive dans des conditions fixées par une décision de l'Autorité de sûreté nucléaire, homologuée par les ministres chargés de la santé et de l'environnement, permettant de s'assurer que l'activité des déchets a suffisamment décliné pour qu'ils soient gérés dans des filières non spécifiquement autorisées pour les déchets radioactifs.

**Art. 5.** – Les déchets radioactifs de très faible activité produits dans les installations nucléaires telles que définies aux articles 2 et 28 de la loi du 13 juin 2006 susvisée sont pris en charge, conformément à leurs spécifications d'accueil, par les centres de traitement et de stockage de déchets radioactifs de très faible activité autorisés.

Les déchets radioactifs de très faible activité produits dans les installations classées pour la protection de l'environnement et contenant des radionucléides naturels non utilisés pour leurs propriétés radioactives, fissiles ou fertiles, font l'objet d'études dont les modalités sont définies par le ministre chargé de l'environnement. Ils peuvent faire l'objet d'une gestion spécifique, notamment afin de respecter le principe défini au 3° de l'article 3.

**Art. 6.** – Sous réserve des dispositions des articles 8 et 9, relatives aux sources scellées usagées et à certains déchets contaminés par du tritium, les déchets radioactifs de faible et de moyenne activité à vie courte sont pris en charge, conformément à leurs spécifications d'accueil, par les centres de traitement autorisés et par le centre de stockage des déchets de faible et moyenne activité à vie courte de l'ANDRA.

**Art. 7.** – Les déchets de graphite et les déchets radifères sont entreposés dans l'attente de la disponibilité du centre de stockage mentionné au 1° de l'article 4 de la loi de programme du 28 juin 2006 susvisée.

Le centre de stockage de déchets radioactifs mentionné au premier alinéa est étudié et conçu par l'ANDRA pour recevoir :

1° Les déchets de graphite et de procédés associés issus du démantèlement des réacteurs uranium naturel - graphite - gaz (UNGG), ainsi que d'autres réacteurs, notamment expérimentaux ;

2° Les déchets radifères dont l'activité massique est telle qu'elle ne permet pas leur stockage en centre de surface.

Au plus tard le 31 décembre 2009, l'ANDRA remet aux ministres chargés de l'énergie et de l'environnement une analyse des sites susceptibles d'accueillir un tel stockage. Cette analyse s'appuie notamment sur des investigations locales pour évaluer la conformité de ces sites aux critères de choix géologiques et environnementaux.

L'ANDRA réalise également une étude sur la possibilité de prendre en charge d'autres types de déchets de faible activité à vie longue, tels que :

1° Des objets contenant du radium, de l'uranium et du thorium de faible activité massique ;

2° Sous réserve des dispositions prévues à l'article 8, des sources scellées usées à vie longue de faible activité, dont les sources de détecteurs d'incendie et des sources de paratonnerres radioactifs.

L'ANDRA remet cette étude au plus tard le 31 décembre 2008 aux ministres chargés de l'énergie et de l'environnement. Cette étude est accompagnée des études de sûreté justifiant les critères d'acceptation de ces déchets.

Les ministres saisissent pour avis l'Autorité de sûreté nucléaire.

**Art. 8.** – L'ANDRA remet au plus tard le 31 décembre 2008, aux ministres chargés de l'énergie et de l'environnement, l'étude relative aux sources scellées usagées réalisée en application du 3° de l'article 4 de la loi de programme du 28 juin 2006 susvisée.

Les ministres saisissent pour avis l'Autorité de sûreté nucléaire.

**Art. 9.** – Conformément au 2° de l'article 4 de la loi de programme du 28 juin 2006 susvisée, le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) remet aux ministres chargés de l'énergie et de l'environnement, au plus tard le 31 décembre 2008, une étude sur les solutions d'entreposage de déchets contaminés par du tritium déjà produits et à venir et non susceptibles d'être stockés directement dans les centres de stockage de l'ANDRA.

Cette étude précise le délai dans lequel ces déchets pourront être pris en charge dans les centres de stockage de l'ANDRA. Le Commissariat à l'énergie atomique veille en particulier à prendre en compte les contraintes, notamment en terme de sûreté et de transport afin de justifier le nombre d'entreposages de décroissance nécessaires pour ce type de déchets. Cette étude présente les orientations de sûreté et précise les dispositions de conception, de réalisation et d'exploitation de l'entreposage qui permettent de limiter autant que possible la migration de tritium dans l'environnement.

Le Commissariat à l'énergie atomique propose un échéancier de mise en œuvre des solutions d'entreposage envisagées et remet une première estimation de leur coût.

Les ministres saisissent pour avis l'Autorité de sûreté nucléaire.

**Art. 10.** – Les sites de stockage de résidus miniers issus des anciennes installations d'extraction et de traitement de minerais d'uranium qui sont régies par le titre I<sup>er</sup> du livre V du code de l'environnement font l'objet d'un plan de surveillance radiologique renforcée, tel que mentionné au 5<sup>o</sup> de l'article 4 de la loi du 28 juin 2006 susvisée.

A cet effet, les exploitants de ces installations remettent, au plus tard le 31 décembre 2008, une étude relative à l'impact à long terme sur la santé et sur l'environnement de ces stockages aux ministres chargés de l'énergie et de l'environnement.

Cette étude comprend notamment :

- 1<sup>o</sup> Une évaluation du comportement mécanique et géochimique des résidus stockés ;
- 2<sup>o</sup> Une analyse des perspectives de mise en sécurité à long terme des résidus contenus par des digues de rétention ;
- 3<sup>o</sup> Une étude de l'impact à long terme des stockages des résidus prenant en compte un scénario d'évolution normal et des scénarios d'évolution altérés.

L'étude précise, si nécessaire, les mesures envisagées pour renforcer les dispositions de prévention des risques d'exposition du public et propose un échéancier de mise en œuvre.

Les ministres saisissent pour avis l'Autorité de sûreté nucléaire. Cet avis est rendu après consultation de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

**Art. 11.** – Les recherches et études relatives aux déchets de moyenne activité et de haute activité à vie longue sont menées conformément à l'article 3 de la loi du 28 juin 2006 susvisée. A cette fin :

1<sup>o</sup> Le CEA coordonne les recherches conduites sur la séparation-transmutation des éléments radioactifs à vie longue, en lien avec les autres organismes de recherche et notamment le CNRS. Il remet au plus tard le 31 décembre 2012, aux ministres en charge de l'énergie, de la recherche et de l'environnement, un dossier afin d'établir un bilan de ces recherches.

Ce dossier comprend les avancées techniques dans les domaines des procédés de traitement et de séparation, de fabrication de combustibles avec actinides mineurs et des expériences d'irradiation menées sur ces combustibles. Il s'appuie sur des procédés complets allant de l'étape de séparation jusqu'à la transmutation en réacteur, en passant par l'étape de fabrication du combustible.

Ce dossier comprend également les résultats de scénarios techniques et économiques tenant compte des possibilités d'optimisation entre les procédés de transmutation des déchets de haute activité à vie longue, leur entreposage et leur stockage en formation géologique. Il permet d'évaluer :

- a) L'apport du recyclage des actinides mineurs et de leur transmutation par rapport à leur stockage au sein des déchets vitrifiés ;
- b) Les différents modes de recyclage envisageables (hétérogène, homogène) ;
- c) Les filières associées possibles (réacteurs critiques électrogènes de nouvelle génération, réacteurs sous-critiques pilotés par accélérateurs).

Ce dossier doit permettre de procéder à une évaluation des perspectives industrielles de ces filières et de faire les choix relatifs au prototype d'installation prévu à l'article 3 de la loi du 28 juin 2006 susvisée. Il prend en compte les orientations retenues à l'étranger, tant en termes de techniques que d'évolution des parcs électriques et de stratégie industrielle des principaux acteurs.

Le CEA s'appuie sur l'ANDRA pour évaluer l'impact de la composition des déchets sur le dimensionnement et le coût du stockage. Il participe à des programmes de coopération internationale et notamment à des programmes européens de recherche.

La partie du dossier consacrée au traitement et à la fabrication de combustible avec actinides mineurs est coordonnée avec les travaux sur les réacteurs de nouvelle génération et les réacteurs pilotés par accélérateurs.

2<sup>o</sup> Afin de déposer la demande d'autorisation de création d'un stockage réversible en formation géologique profonde et de permettre son instruction en 2015 conformément à l'article 3 de la loi du 28 juin 2006 susvisée, l'ANDRA mène les études destinées à constituer le dossier prévu au quatrième alinéa de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement notamment dans le laboratoire souterrain de Meuse - Haute-Marne et la zone dite de transposition située au nord de ce laboratoire.

Elle coordonne les recherches sur cette thématique, en lien avec les autres organismes de recherche, notamment le CNRS et le CEA.

Elle étudie différents scénarios techniques et économiques pour la conception du stockage.

Au plus tard le 31 décembre 2009, l'ANDRA propose aux ministres chargés de l'énergie, de la recherche et de l'environnement :

- a) Une zone d'intérêt restreinte propice à l'implantation d'un stockage, sur laquelle seront mises en œuvre des techniques d'exploration approfondies ;

- b) Des options de conception, de sûreté opérationnelle et à long terme et de réversibilité ;
- c) Un modèle d'inventaire des déchets à prendre en compte ;
- d) Des options d'entreposage en complément du stockage.

Les ministres saisissent pour avis l'Autorité de sûreté nucléaire.

Au plus tard le 31 décembre 2012, l'ANDRA remet aux ministres chargés de l'énergie, de la recherche et de l'environnement le dossier servant de support à l'organisation du débat public prévu par l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, comprenant notamment une proposition pour un site d'implantation du stockage géologique.

Au plus tard le 31 décembre 2014, l'ANDRA dépose la demande d'autorisation de création prévue par l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement.

3° Les futures installations d'entreposage des déchets de haute et de moyenne activité à vie longue prennent en compte l'état de l'art en la matière et sont implantées conformément aux exigences du 3° de l'article 3.

Au plus tard le 31 décembre 2009, sur la base de l'inventaire prévu à l'article 2 et des besoins d'entreposage qui en découlent, l'ANDRA propose aux ministres chargés de l'énergie, de la recherche et de l'environnement les études qu'elle propose de mener sur les évolutions possibles en matière d'entreposage des déchets de haute et de moyenne activité à vie longue.

Au plus tard le 31 décembre 2012, l'ANDRA remet aux ministres chargés de l'énergie, de la recherche et de l'environnement un bilan des études qui lui auront été confiées.

**Art. 12.** – Le bilan prévu au 4° de l'article 4 de la loi de programme du 28 juin 2006 susvisée est dressé par l'Autorité de sûreté nucléaire et est remis avant le 30 juin 2009 aux ministres chargés de la santé et de l'environnement.

Il porte sur les solutions de gestion mises en œuvre pour les déchets à radioactivité naturelle renforcée produits durant la période d'établissement du bilan. Il vise à évaluer l'impact radiologique des solutions, à court et à long terme. En vue de l'établissement de ce bilan, les producteurs de ces déchets et les exploitants des filières d'élimination de ce type de déchets remettent à l'Autorité de sûreté nucléaire un bilan de leurs pratiques de gestion et de leur impact radiologique, dans des conditions précisées par décision notifiée de l'Autorité de sûreté nucléaire. Pour l'évaluation de ces pratiques et de leur impact radiologique, l'Autorité de sûreté nucléaire peut faire appel, en tant que de besoin, à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

Le bilan porte également sur la gestion des déchets à radioactivité naturelle renforcée produits avant le 1<sup>er</sup> janvier 2007 en vue d'évaluer leur impact radiologique.

L'Autorité de sûreté nucléaire propose aux ministres chargés de la santé et de l'environnement toute mesure réglementaire propre à améliorer, en termes de radioprotection, la gestion des déchets à radioactivité naturelle renforcée.

**Art. 13.** – Les propriétaires de matières radioactives valorisables pour lesquelles les procédés de valorisation n'ont jamais été mis en œuvre remettent au plus tard le 31 décembre 2008, aux ministres chargés de l'énergie et de l'environnement, ainsi qu'à l'ANDRA, un bilan des études sur les procédés de valorisation qu'ils envisagent. Sur la base de ce bilan, les ministres, après avis de l'ANDRA et de l'Autorité de sûreté nucléaire, pourront requalifier ces matières en déchets dans la prochaine mise à jour du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

L'ensemble des propriétaires de matières radioactives valorisables mène, au plus tard le 31 décembre 2010, à titre conservatoire, des études sur les filières possibles de gestion dans le cas où ces matières seraient à l'avenir qualifiées de déchets. Ces études sont remises aux ministres chargés de l'énergie, de l'environnement et de la recherche.

**Art. 14.** – Le ministre d'Etat, ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, la ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche et la ministre de la santé, de la jeunesse, des sports et de la vie associative sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 16 avril 2008.

FRANÇOIS FILLON

Par le Premier ministre :

*Le ministre d'Etat, ministre de l'écologie,  
de l'énergie, du développement durable  
et de l'aménagement du territoire,*

JEAN-LOUIS BORLOO

*La ministre de l'enseignement supérieur  
et de la recherche,*  
VALÉRIE PECRESSE

*La ministre de la santé,  
de la jeunesse, des sports  
et de la vie associative,*

ROSELYNE BACHELOT-NARQUIN

## ANNEXE

SOLUTIONS DE GESTION DÉVELOPPÉES DANS LE CADRE DU PNGMDR  
POUR LES DIFFÉRENTES CATÉGORIES DE DÉCHETS

ACTIVITÉ	PÉRIODE	TRÈS COURTE DURÉE DE VIE < 100 jours	COURTE DURÉE DE VIE ≤ 31 ans	LONGUE DURÉE DE VIE > 31 ans
Très faible activité.		Gestion par décroissance radioactive.	Stockage dédié en surface. Filières de recyclage.	
Faible activité.				
Moyenne activité.			Stockage de surface (centre de stockage de l'Aube) sauf certains déchets triés et certaines sources scellées.	Stockage dédié en subsurface à l'étude.  Filières à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs.
Haute activité.			Filières à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs.	

Il convient de rappeler deux aspects importants concernant la classification des déchets radioactifs :

- il n'existe pas de critère de classement unique permettant de déterminer la classe d'un déchet. Il est en effet nécessaire d'étudier la radioactivité des différents radionucléides présents dans le déchet pour le positionner dans la classification. Cependant, à défaut d'un critère unique, les déchets de chaque catégorie se situent en général dans une gamme de radioactivité massique indiquée ci-après ;
- un déchet peut relever d'une catégorie définie mais ne pas être accepté dans la filière de gestion correspondante du fait d'autres caractéristiques (sa composition chimique, par exemple). En conséquence, la catégorie du déchet n'est pas obligatoirement assimilée à sa filière de gestion.

Les déchets radioactifs sont classés en fonction de leur niveau d'activité et de leur période selon les ordres de grandeur suivants :

- les déchets de haute activité : ils sont principalement constitués des colis de déchets vitrifiés issus du retraitement des combustibles usés. Ces colis de déchets concentrent la grande majorité des radionucléides, qu'il s'agisse des produits de fission ou des actinides mineurs. Le niveau d'activité de ces déchets est de l'ordre de plusieurs milliards de becquerels par gramme ;
- les déchets de moyenne activité à vie longue : ils sont également principalement issus des activités de retraitement. Il s'agit des déchets technologiques (outils usagés, équipements...), de déchets issus du traitement des effluents comme les boues bitumées et des déchets de structure, les coques et embouts constituants de la gaine du combustible nucléaire, conditionnés dans des colis de déchets cimentés ou compactés. L'activité de ces déchets est de l'ordre d'un million à un milliard de becquerels par gramme ;
- les déchets de faible activité à vie longue : il s'agit principalement des déchets de graphite et des déchets radifères. Les déchets de graphite ont une activité se situant entre dix mille et cent mille becquerels par gramme, essentiellement des radionucléides émetteurs bêta à vie longue. Les déchets radifères sont principalement constitués de radionucléides émetteurs alpha à vie longue et possèdent une activité comprise entre quelques dizaines de becquerels par gramme à quelques milliers de becquerels par gramme ;
- les déchets de faible activité et moyenne activité à vie courte : ils sont issus de l'exploitation des centrales nucléaires et des centres de recherche et pour une faible partie des activités de recherche biomédicale. L'activité de ces déchets se situe entre quelques centaines de becquerels par gramme à un million de becquerels par gramme ;
- les déchets de très faible activité : ils sont issus de l'exploitation des centrales nucléaires et des centres de recherche. Le niveau d'activité de ces déchets est en général inférieur à cent becquerels par gramme.

**ANNEXE 4 - LOI N° 2006-686 DU 13 JUIN 2006**

**Loi relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire**

**- Article 29 -**

II. – L'exploitant d'une installation nucléaire de base est responsable de la sûreté de son installation.

III. – Les installations nucléaires de base sont :

1° Les réacteurs nucléaires ;

2° Les installations, répondant à des caractéristiques définies par décret en Conseil d'Etat, de préparation, d'enrichissement, de fabrication, de traitement ou d'entreposage de combustibles nucléaires ou de traitement, d'entreposage ou de stockage de déchets radioactifs ;

3° Les installations contenant des substances radioactives ou fissiles et répondant à des caractéristiques définies par décret en Conseil d'Etat ;

4° Les accélérateurs de particules répondant à des caractéristiques définies par décret en Conseil d'Etat.

IV. – Les installations nucléaires de base ne sont soumises ni aux dispositions des articles L. 214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement, ni à celles du titre I<sup>er</sup> du livre V du même code. Elles ne sont pas soumises au régime d'autorisation ou de déclaration visé à l'article L. 1333-4 du code de la santé publique.

V. – Les équipements et installations qui sont nécessaires à l'exploitation d'une installation nucléaire de base et implantés dans son périmètre défini en application du I de l'article 29 de la présente loi, y compris ceux qui sont inscrits à l'une des catégories comprises dans une des nomenclatures prévues aux articles L. 214-2 et L. 511-2 du code de l'environnement, sont réputés faire partie de cette installation et sont soumis aux dispositions du présent titre.

Les autres équipements et installations inscrits à l'une des catégories précitées et implantés dans le périmètre de l'installation nucléaire de base restent soumis aux dispositions du code de l'environnement précitées, l'Autorité de sûreté nucléaire exerçant les attributions en matière de décisions individuelles et de contrôle prévues par ces dispositions.

### Article 29

I. – La création d'une installation nucléaire de base est soumise à autorisation. Cette autorisation ne peut être délivrée que si, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, l'exploitant démontre que les dispositions techniques ou d'organisation prises ou envisagées aux stades de la conception, de la construction et de l'exploitation ainsi que les principes généraux proposés pour le démantèlement ou, pour les installations de stockage de déchets radioactifs, pour leur entretien et leur surveillance après leur arrêt définitif selon les modalités définies au VI, sont de nature à prévenir ou à limiter de manière suffisante les risques ou inconvénients que l'installation présente pour les intérêts mentionnés au I de l'article 28. L'autorisation prend en compte les capacités techniques et financières de l'exploitant qui doivent lui permettre de conduire son projet dans le respect de ces intérêts, en particulier pour couvrir les dépenses de démantèlement de l'installation et de remise en état, de surveillance et d'entretien de son lieu d'implantation ou, pour les installations de stockage de déchets radioactifs, pour couvrir les dépenses d'arrêt définitif, d'entretien et de surveillance.

L'autorisation est délivrée par décret pris après avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et après enquête publique. Ce décret détermine les caractéristiques et le périmètre de l'installation et fixe le délai dans lequel celle-ci doit être mise en service.

Pour l'application du décret d'autorisation, l'Autorité de sûreté nucléaire définit, dans le respect des règles générales prévues à l'article 30, les prescriptions relatives à la conception, à la construction et à l'exploitation de l'installation qu'elle estime nécessaires à la protection des intérêts mentionnés au I de l'article 28. A ce titre, elle précise notamment, en tant que de besoin, les prescriptions relatives aux prélèvements d'eau de l'installation et aux substances radioactives issues de l'installation. Les prescriptions fixant les limites de rejets de l'installation dans l'environnement sont soumises à homologation.

L'Autorité de sûreté nucléaire autorise la mise en service de l'installation, dans les conditions définies par le décret prévu à l'article 36, et prononce les décisions individuelles prévues par la réglementation des équipements sous pression mentionnés au 2° de l'article 4.

Pendant l'instruction d'une demande d'autorisation, l'Autorité de sûreté nucléaire peut prendre des mesures provisoires nécessaires à la protection des intérêts mentionnés au I de l'article 28.

II. – Une nouvelle autorisation est requise en cas :

1° De changement d'exploitant de l'installation ;

2° De modification du périmètre de l'installation ;

3° De modification notable de l'installation.

A l'exception des demandes motivées par les cas visés au 1° et au 2° du présent II qui font l'objet d'une procédure allégée dans des conditions définies par décret en Conseil d'Etat, cette nouvelle autorisation est accordée selon les modalités prévues au I.

III. – 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. L'exploitant adresse à l'Autorité de sûreté nucléaire et aux ministres chargés de la sûreté nucléaire un rapport comportant les conclusions de cet examen et, le cas échéant, les dispositions qu'il envisage de prendre pour remédier aux anomalies constatées ou pour améliorer la sûreté de son installation.

Après analyse du rapport, l'Autorité de sûreté nucléaire peut imposer de nouvelles prescriptions techniques. Elle communique aux ministres chargés de la sûreté nucléaire son analyse du rapport.

Les réexamens de sûreté ont lieu tous les dix ans. Toutefois, le décret d'autorisation peut fixer une périodicité différente si les particularités de l'installation le justifient.

IV. – S'il apparaît qu'une installation nucléaire de base présente des risques graves pour les intérêts mentionnés au I de l'article 28, les ministres chargés de la sûreté nucléaire peuvent, par arrêté, prononcer la suspension de son fonctionnement pendant le délai nécessaire à la mise en œuvre des mesures propres à faire disparaître ces risques graves. Sauf cas d'urgence, l'exploitant est mis à même de présenter ses observations sur le projet de suspension et l'avis préalable de l'Autorité de sûreté nucléaire est recueilli.

En cas de risques graves et imminents, l'Autorité de sûreté nucléaire suspend, si nécessaire, à titre provisoire et conservatoire, le fonctionnement de l'installation. Elle en informe sans délai les ministres chargés de la sûreté nucléaire.

V. – La mise à l'arrêt définitif et le démantèlement d'une installation nucléaire de base sont subordonnés à une autorisation préalable. La demande d'autorisation comporte les dispositions relatives aux conditions de mise à l'arrêt, aux modalités de démantèlement et de gestion des déchets, ainsi qu'à la surveillance et à l'entretien ultérieur du lieu d'implantation de l'installation permettant, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment et des prévisions d'utilisation ultérieure du site, de prévenir ou de limiter de manière suffisante les risques ou inconvénients pour les intérêts mentionnés au I de l'article 28.

L'autorisation est délivrée par décret pris après avis de l'Autorité de sûreté nucléaire. Ce décret fixe les caractéristiques du démantèlement, le délai de réalisation du démantèlement et les types d'opérations à la charge de l'exploitant après le démantèlement.

Pour l'application du décret d'autorisation, l'Autorité de sûreté nucléaire définit, dans le respect des règles générales prévues à l'article 30, les prescriptions relatives au démantèlement nécessaires à la protection des intérêts mentionnés au I de l'article 28. Elle précise notamment, s'il y a lieu, les prescriptions relatives aux prélèvements d'eau de l'installation et aux substances radioactives issues de l'installation. Les prescriptions fixant les limites de rejets de l'installation dans l'environnement sont soumises à homologation.

Les dispositions du présent V ne sont pas applicables aux installations de stockage de déchets radioactifs.

VI. – L'arrêt définitif et le passage en phase de surveillance d'une installation de stockage de déchets radioactifs sont subordonnés à une autorisation. La demande d'autorisation comporte les dispositions relatives à l'arrêt définitif ainsi qu'à l'entretien et à la surveillance du site permettant, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, de prévenir ou de limiter de manière suffisante les risques ou inconvénients pour les intérêts mentionnés au I de l'article 28.

L'autorisation est délivrée par décret pris après avis de l'Autorité de sûreté nucléaire. Ce décret fixe les types d'opérations à la charge de l'exploitant après l'arrêt définitif.

Pour l'application du décret d'autorisation, l'Autorité de sûreté nucléaire précise, dans le respect des règles générales prévues à l'article 30, les prescriptions nécessaires à la protection des intérêts mentionnés au I de l'article 28. Elle précise notamment, s'il y a lieu, les prescriptions relatives aux prélèvements d'eau de l'installation, aux rejets de celle-ci dans l'environnement et aux substances radioactives issues de l'installation.

VII. – Les autorisations sont accordées sous réserve des droits des tiers.

Si l'exploitant n'est pas propriétaire du terrain, la demande d'autorisation doit être accompagnée de l'engagement de celui-ci à respecter les obligations qui lui incombent en application de l'article 44. Tout nouvel acquéreur du terrain souscrit au même engagement, sous peine d'annulation de la vente.

VIII. – Lorsqu'une installation nucléaire de base a été démantelée conformément aux dispositions définies au V, ou est passée en phase de surveillance conformément aux dispositions définies au VI, et qu'elle ne nécessite plus la mise en œuvre des dispositions prévues au présent titre, l'Autorité de sûreté nucléaire soumet à l'homologation des ministres chargés de la sûreté nucléaire une décision portant déclassement de l'installation.

IX. – En cas de menace pour les intérêts mentionnés au I de l'article 28, l'Autorité de sûreté nucléaire peut à tout moment prescrire les évaluations et la mise en œuvre des dispositions rendues nécessaires. Sauf cas d'urgence, l'exploitant est mis à même de présenter ses observations.

Les dispositions du premier alinéa du présent IX sont applicables même si la menace est constatée après le déclassement de l'installation.

X. – Si une installation nucléaire de base n'est pas mise en service dans le délai fixé par le décret autorisant sa création, un décret, pris après avis de l'Autorité de sûreté nucléaire, peut mettre fin à l'autorisation de l'installation. L'Autorité de sûreté nucléaire peut soumettre le titulaire de l'autorisation à des prescriptions particulières en vue de protéger les intérêts mentionnés au I de l'article 28 et d'assurer la remise en état du site. Le contrôle et les mesures de police prévus par le présent titre restent applicables à cette installation.

Si une installation nucléaire de base cesse de fonctionner pendant une durée continue supérieure à deux ans, les ministres chargés de la sûreté nucléaire peuvent, par arrêté pris après avis de l'Autorité de sûreté nucléaire, interdire la reprise du fonctionnement de l'installation et demander à l'exploitant de déposer, dans un délai qu'ils fixent, une demande d'autorisation de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement de l'installation.

### Article 30

Pour protéger les intérêts mentionnés au I de l'article 28, la conception, la construction, l'exploitation, la mise à l'arrêt définitif et le démantèlement des installations nucléaires de base ainsi que l'arrêt définitif, l'entretien et la surveillance des installations de stockage de déchets radioactifs sont soumis à des règles générales applicables à toutes ces installations ou à certaines catégories d'entre elles. Il en est de même pour la construction et l'utilisation des équipements sous pression spécialement conçus pour ces installations. Ces règles générales, qui peuvent prévoir des modalités d'application particulières pour les installations existantes, sont fixées par arrêté ministériel.

### Article 31

L'autorité administrative peut instituer autour des installations nucléaires de base, y compris des installations existantes, des servitudes d'utilité publique concernant l'utilisation du sol et l'exécution de travaux soumis à déclaration ou autorisation administrative. Ces servitudes peuvent également concerner l'utilisation du sol sur le terrain d'assiette de l'installation et autour de celui-ci, après déclassement ou disparition de l'installation nucléaire de base. Elles sont instituées après avis de l'Autorité de sûreté nucléaire, dans les conditions prévues par les articles L. 515-8 à L. 515-12 du code de l'environnement.

### Article 32

La section 4 du chapitre V du titre II du livre IV du code de l'urbanisme telle qu'elle résulte de l'ordonnance n° 2005-1527 du 8 décembre 2005 relative au permis de construire et aux autorisations d'urbanisme est complétée par un article L. 425-12 ainsi rédigé :

« *Art. L. 425-12.* – Lorsque le projet porte sur une installation nucléaire de base soumise à une autorisation de création en vertu du I ou à une nouvelle autorisation en vertu du 3° du II de l'article 29 de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire, les travaux ne peuvent être exécutés avant la clôture de l'enquête publique préalable à cette autorisation. »

### Article 33

Une installation régulièrement mise en service qui, par l'effet d'une modification d'un décret en Conseil d'Etat pris en application des 2°, 3° et 4° du III de l'article 28, entre dans le champ d'application des dispositions du présent titre peut continuer à fonctionner sans l'autorisation de création requise au I de l'article 29 à la condition que l'exploitant adresse une déclaration à l'Autorité de sûreté nucléaire dans l'année suivant la publication du décret.

L'Autorité de sûreté nucléaire peut imposer des prescriptions particulières à cette installation pour assurer la protection des intérêts mentionnés au I de l'article 28.

### Article 34

Un décret en Conseil d'Etat pris après avis de l'Autorité de sûreté nucléaire peut ordonner la mise à l'arrêt définitif et le démantèlement d'une installation nucléaire de base qui présente, pour les intérêts mentionnés au I de l'article 28, des risques graves que les mesures prévues par le présent titre ne sont pas de nature à prévenir ou à limiter de manière suffisante.

### Article 35

L'Autorité de sûreté nucléaire accorde les autorisations ou agréments et reçoit les déclarations relatifs au transport de substances radioactives.

### Article 36

Un décret en Conseil d'Etat détermine les modalités d'application du présent chapitre.

Il en précise les conditions d'application aux installations qui y sont soumises postérieurement à leur mise en service.

Il définit une procédure d'autorisation simplifiée, qui ne peut être renouvelée qu'une seule fois, pour les installations destinées à fonctionner pendant une durée inférieure à six mois.



## ANNEXE 5 - DECRET DU 3 AOUT 1999

autorisant l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs à installer et exploiter sur le territoire de la commune de Bure (Meuse) un laboratoire souterrain destiné à étudier les formations géologiques profondes où pourraient être stockés des déchets radioactifs

« 4° Des actions de sociétés d'investissement à capital variable et des parts de fonds communs de placement détenant exclusivement des actifs relevant des 1°, 2° et 3°.

« Les placements sont comptabilisés au prix d'achat et les moins-values provisionnées ligne par ligne.

« La provision ne peut être investie à hauteur de plus de 5 % dans des valeurs émises par un même organisme, à l'exception des valeurs émises ou garanties par un Etat membre de l'Union européenne.

« Les liquidités doivent représenter à tout instant au moins 20 % des actifs du fonds.

« Les valeurs et liquidités du fonds de garantie sont déposées auprès d'établissements de crédit ou d'entreprises d'investissement régulièrement habilités par un Etat membre de l'Union européenne. Aucun de ces établissements ou entreprises ne peut détenir plus de 10 % du montant de la provision.

« La comptabilité du fonds doit permettre de distinguer le montant des cotisations versées par les entreprises adhérentes, le montant cumulé des produits financiers des cotisations et les autres ressources du fonds ».

**Art. 2. - I. -** A la fin de l'article R. 334-3 du code des assurances, il est ajouté un 9 ainsi rédigé :

« 9. Pour les entreprises adhérentes au fonds de garantie institué par l'article L. 423-1, la réserve pour fonds de garantie prévue à l'article R. 423-13, à hauteur de la part de cotisation versée par l'entreprise et non utilisée par le fonds. »

**II. -** A la fin de l'article R. 334-11 du code des assurances, il est ajouté un 7 ainsi rédigé :

« 7. La réserve pour fonds de garantie prévue à l'article R. 423-13, à hauteur de la part de cotisation versée par l'entreprise et non utilisée par le fonds. »

**III. -** Le a de l'article R. 334-17 du code des assurances est remplacé par les dispositions suivantes :

« a) Les éléments définis aux 1, 2, 3, 4, 6 et 7 de l'article R. 334-11 ; ».

**Art. 3. -** Au 3° du I de l'article R. 411-1 du code des assurances, après les mots : « entreprises d'assurance », sont ajoutés les mots : «, dont le président du conseil de surveillance du fonds de garantie institué par l'article L. 423-1 et sept autres représentants ; ».

**Art. 4. -** Le deuxième alinéa de l'article R. 411-10 du code des assurances est complété par un 4° ainsi rédigé :

« 4° Un représentant du fonds de garantie institué par l'article L. 423-1. »

**Art. 5. -** Au chapitre II du titre III du livre III du code des assurances, il est inséré un article R. 332-1-2 ainsi rédigé :

« Art. R. 332-1-2. - Les entreprises d'assurance doivent procéder en permanence à une évaluation de leurs risques financiers en effectuant notamment des simulations de l'impact de la variation des taux d'intérêt et des cours boursiers sur leur actif et leur passif et des estimations comparées de l'exigibilité de leur passif et de la liquidité de leur actif. Les résultats de cette évaluation sont déterminés et présentés selon des principes généraux définis par arrêté du ministre chargé de l'économie. Ils sont annexés à l'état trimestriel des placements destiné à la commission de contrôle des assurances. »

**Art. 6. - I. -** Au premier alinéa de l'article R. 322-139 du code des assurances, après les mots : « frais de gestion », sont ajoutés les mots : « et d'acquisition statutaires ».

**II. -** Au premier alinéa de l'article R. 322-142 du code des assurances, après les mots : « frais de gestion », sont ajoutés les mots : « et d'acquisition ». Le deuxième alinéa du même article est supprimé.

**Art. 7. -** Le montant global des cotisations annuelles prévu à l'article R. 423-13 du code des assurances est fixé pour l'année 1999 à 89 335 124 euros. La répartition du montant global entre les entreprises adhérentes et la notification de la cotisation à chacune d'elles sont effectuées par la commission de contrôle des assurances conformément aux dispositions de l'article R. 423-13 dans un délai d'un mois à compter de la date de publication du présent décret.

La mise à disposition initiale des moyens du fonds est complétée en 2000 et 2001 pour atteindre à la fin de l'année 2000 les deux tiers et à la fin de l'année 2001 la totalité du montant global de l'année correspondante tel que défini au premier alinéa de l'article R. 423-13 du même code.

**Art. 8. -** Le ministre de l'économie, des finances et de l'industrie est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 3 août 1999.

LIONEL JOSPIN

Par le Premier ministre :

Le ministre de l'économie,  
des finances et de l'industrie,  
DOMINIQUE STRAUSS-KAHN

**Décret du 3 août 1999 autorisant l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs à installer et exploiter sur le territoire de la commune de Bure (Meuse) un laboratoire souterrain destiné à étudier les formations géologiques profondes où pourraient être stockés des déchets radioactifs**

NOR : ECO1990310D

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre de l'économie, des finances et de l'industrie et de la ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement,

Vu la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs ;

Vu le décret n° 92-1311 du 17 décembre 1992 portant application de l'article 6 de la loi du 30 décembre 1991 susvisée, ensemble le rapport du Médiateur en date du 20 décembre 1993 ;

Vu le décret n° 92-1391 du 30 décembre 1992 relatif à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs ;

Vu le décret n° 93-940 du 16 juillet 1993 portant application de la loi du 30 décembre 1991 susvisée et relatif à l'autorisation d'installation et d'exploitation d'un laboratoire souterrain ;

Vu la demande présentée le 2 juillet 1996 par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs et le dossier accompagnant cette demande ;

Vu les conclusions de l'enquête publique effectuée du 3 mars 1997 au 17 mai 1997 ;

Vu les avis des conseils régionaux de Champagne-Ardenne et de Lorraine et des conseils généraux des départements de la Meuse et de la Haute-Marne ;

Vu les résultats de la consultation des conseils municipaux des communes de Aingoulaincourt, Cirfontaines-en-Ornois, Echenay, Effincourt, Epizon, Germay, Germisay, Gillaumé, Lezéville, Montreuil-sur-Thonnance, Noncourt-sur-le-Rongean, Osne-le-Val, Pansey, Paroy-sur-Saulx, Poissons, Sailly, Saudron, Thonnance-les-Moulins (Haute-Marne), Abainville, Baudignécourt, Biencourt-sur-Orge, Bonnet, Bure, Chassey-Beaupré, Couvertpuis, Dainville-Bertheléville, Gondrecourt-le-Château, Houville-en-Ornois, Houdelaincourt, Mandres-en-Barrois, Montiers-sur-Saulx, Ribeaucourt et Saint-Joire (Meuse) ;

Vu les comptes rendus des conférences administratives ;

Vu l'avis du préfet du département de la Meuse, coordonnateur de l'enquête publique, en date du 14 octobre 1997 ;

Le Conseil d'Etat (section des travaux publics) entendu,

Décète :

**Art. 1<sup>er</sup>.** - L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs est autorisée à installer et exploiter sur le territoire de la commune de Bure (département de la Meuse) un laboratoire souterrain destiné à mener des recherches sur les formations géologiques profondes où pourraient être stockés des déchets radioactifs, dans les conditions définies par la demande du 2 juillet 1996 susvisée et dans le dossier joint à cette dernière.

L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, en sa qualité d'exploitant du laboratoire souterrain, se conforme aux prescriptions du décret du 16 juillet 1993 susvisé, du présent décret et du cahier des charges annexé.

**Art. 2. -** Le laboratoire souterrain dont l'installation et l'exploitation sont autorisées par le présent décret consiste en un ensemble d'ouvrages et d'équipements comprenant :

- les installations de surface ;
- deux puits de liaison entre la surface et les installations souterraines ;
- les installations souterraines.

Art. 3. - Le périmètre de droit exclusif prévu à l'article 9 de la loi du 30 décembre 1991 susvisée est indiqué sur le plan au 1/5 000 annexé au présent décret. L'exploitant est autorisé à procéder à des travaux en sous-sol et à disposer des matériaux extraits à l'occasion de ces travaux à l'intérieur de ce périmètre.

Les propriétaires des terrains situés à l'intérieur de ce périmètre sont indemnisés dans les conditions fixées par le cahier des charges annexé au présent décret.

Art. 4. - Le périmètre de protection prévu à l'article 10 de la loi du 30 décembre 1991 susvisée est constitué, conformément au plan au 1/25 000 annexé au présent décret, par un polygone dont les sommets sont définis comme suit par leurs coordonnées Lambert I (zone Nord) :

A	x = 826 000	y = 1 095 500
B	x = 826 000	y = 1 093 000
C	x = 827 000	y = 1 093 000
D	x = 827 000	y = 1 090 000
E	x = 826 000	y = 1 090 000
F	x = 826 000	y = 1 089 000
G	x = 825 000	y = 1 089 000
H	x = 825 000	y = 1 088 500
I	x = 823 000	y = 1 088 500
J	x = 823 000	y = 1 089 000
K	x = 822 000	y = 1 089 000
L	x = 821 000	y = 1 090 000
M	x = 820 000	y = 1 093 000
N	x = 820 000	y = 1 094 000
O	x = 822 000	y = 1 095 000
P	x = 822 500	y = 1 095 500

A l'intérieur de ce périmètre, les préfets de la Meuse et de la Haute-Marne peuvent, chacun en ce qui le concerne, interdire ou réglementer tous les travaux de surface ou souterrains, activités, dépôts, ouvrages ou installations de nature à compromettre directement ou indirectement les opérations et études autorisées par le présent décret.

Art. 5. - Les investigations et expérimentations en laboratoire souterrain ont pour objet de réunir les données nécessaires à la conception, à l'optimisation, au respect de la réversibilité et à la sûreté d'un éventuel stockage de déchets radioactifs. Doivent notamment être étudiés :

- la constructibilité des ouvrages et les conditions de la réversibilité d'un stockage ;
- la capacité à sceller les ouvrages d'un stockage ;
- l'extension des perturbations dues à un stockage ;
- la capacité de confinement de la formation géologique dite « callovo-oxfordien » ;
- les possibilités de transfert d'éléments radioactifs et d'éléments toxiques entre la formation du callovo-oxfordien et la biosphère ;
- le contexte sismique, géologique et hydrogéologique régional.

Art. 6. - L'exploitant s'attache à obtenir une qualité appropriée pour la conception, la construction et l'exploitation du laboratoire ainsi que les recherches qui y sont menées par la mise en œuvre d'un ensemble contrôlé d'actions planifiées et systématiques, fondé sur des procédures écrites et archivées. En particulier, l'exploitant procède à la surveillance et au contrôle de l'action des constructeurs, des fournisseurs et autres sous-traitants lors de la conception, puis de la réalisation des puits, des galeries et des équipements du laboratoire.

Art. 7. - Le fonçage des puits du laboratoire, le creusement de la niche d'expérimentations et le creusement des galeries du laboratoire sont soumis à l'approbation préalable des ministres chargés de la sûreté des installations nucléaires. Préalablement à ces approbations, l'exploitant présente un dossier exposant les programmes détaillés des travaux prévus.

L'exploitant rend compte annuellement de l'état d'avancement de ces travaux aux ministres susmentionnés et à la Commission nationale d'évaluation visée à l'article 4 de la loi du 30 décembre 1991 susvisée.

Art. 8. - L'installation est construite et exploitée de façon que son utilisation ne puisse être à l'origine d'odeurs, de bruits ou de vibrations pouvant constituer une gêne pour la tranquillité du voisinage.

Art. 9. - La surveillance de l'installation citée à l'article 1<sup>er</sup> est exercée sous l'autorité du préfet de la Meuse.

Cette surveillance porte sur le respect de la réglementation technique générale applicable au laboratoire, des dispositions contenues dans le présent décret et le cahier des charges annexé ainsi que des prescriptions imposées à l'exploitant en exécution de ce décret.

Art. 10. - L'autorisation objet du présent décret est accordée jusqu'au 31 décembre 2006. La poursuite de l'exploitation du laboratoire ne pourra, le cas échéant, être autorisée que par un décret en Conseil d'Etat.

Art. 11. - En cas de cessation définitive d'activité sur le site, l'exploitant devra le remettre en état dans les conditions décrites dans le cahier des charges annexé au présent décret.

Art. 12. - L'entrée en vigueur du présent décret est subordonnée à l'installation préalable du comité local d'information et de suivi créé par l'article 14 de la loi du 30 décembre 1991 susvisée.

Art. 13. - Le ministre de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie, le ministre de l'économie, des finances et de l'industrie, le ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement et le secrétaire d'Etat à l'industrie sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 3 août 1999.

LIONEL JOSPIN

Par le Premier ministre :

*Le ministre de l'économie,  
des finances et de l'industrie,*  
DOMINIQUE STRAUSS-KAHN

*Le ministre de l'éducation nationale,  
de la recherche et de la technologie,*  
CLAUDE ALLÈGRE

*La ministre de l'aménagement du territoire  
et de l'environnement,*  
DOMINIQUE VOYNET

*Le secrétaire d'Etat à l'industrie,*  
CHRISTIAN PIERRET

*Nota. - Le cahier des charges et les plans annexés au présent décret peuvent être consultés :*

- à la direction de la sûreté des installations nucléaires, 99, rue de Grenelle, 75353 Paris 07 SP ;
- à la direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement de Lorraine, 15, rue Claude-Chappe, BP 95038, 57071 Metz Cedex 03 ;
- à la préfecture de la Meuse, 40, rue du Bourg, 55012 Bar-le-Duc Cedex ;
- à la préfecture de la Haute-Marne, 86, rue de la Victoire-de-la-Marne, 52011 Chaumont Cedex.

**Arrêté du 27 juillet 1999 fixant les modalités spéciales d'exercice du contrôle économique et financier de l'Etat sur le groupement d'intérêt public dénommé Pôle universitaire européen de Strasbourg**

NOR : ECOB9930005A

Le ministre de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie, le ministre de l'économie, des finances et de l'industrie et le secrétaire d'Etat au budget,

Vu la loi n° 84-52 du 26 janvier 1984 modifiée sur l'enseignement supérieur ;

Vu le décret n° 53-707 du 9 août 1953 modifié relatif au contrôle de l'Etat sur les entreprises publiques nationales et certains organismes ayant un objet d'ordre économique ou social ;

Vu le décret n° 55-733 du 26 mai 1955 modifié portant codification, en application de la loi n° 55-360 du 3 avril 1955, et aménagement des textes relatifs au contrôle économique et financier de l'Etat, notamment son article 10 ;

Vu le décret n° 85-605 du 13 juin 1985 relatif aux groupements d'intérêt public constitués en application de l'article 45 de la loi n° 84-52 du 26 janvier 1984 modifiée sur l'enseignement supérieur ;

Vu l'arrêté en date du 7 août 1991 approuvant la convention constitutive du groupement d'intérêt public dénommé Pôle universitaire européen de Strasbourg,



ANNEXE 6 - LETTRE GPD/05-16 DU 15 DECEMBRE 2005

**GROUPE PERMANENT D'EXPERTS  
POUR LES INSTALLATIONS DESTINÉES  
AU STOCKAGE A LONG TERME DES DÉCHETS RADIOACTIFS**

**Avis relatif  
à l'examen du "Dossier 2005 Argile"**

Réunion tenue à Fontenay aux Roses le 12/12/2005 et le 13/12/2005

À la demande du Directeur général de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (lettre DGSNR/SD3/n°0525 du 5 août 2005), le groupe permanent d'experts pour les installations destinées au stockage à long terme des déchets radioactifs a examiné, lors de sa réunion des 12 et 13 décembre 2005, le Dossier 2005 Argile établi par l'Andra, relatif à l'évaluation de la faisabilité d'un stockage en formation géologique profonde dans la formation argileuse étudiée au moyen du laboratoire souterrain de Bure. Le groupe permanent a en particulier examiné les points critiques pour la sûreté d'un tel stockage ainsi que l'identification et la prise en compte des incertitudes dans l'analyse de sûreté de l'Andra. Le groupe permanent s'est également attaché à identifier les principaux travaux et recherches qui devraient être conduits pour montrer la possibilité de mise en œuvre industrielle d'une installation de stockage sûre dans cette formation argileuse, si une décision de principe sur le stockage géologique était prise par le Parlement en 2006.

Le groupe permanent a pris connaissance de l'analyse de l'IRSN présentée dans le rapport DSU n°106 et a entendu les explications et commentaires de l'Andra présentés en séance.

\*\*\*

Le groupe permanent souligne que le Dossier 2005 Argile présente un ensemble complet de grande qualité constituant une avancée significative.

Le concept de stockage défini par l'Andra, qui repose sur un ensemble important de données et d'études, permet d'apprécier la possibilité de réaliser une installation de stockage de déchets radioactifs de haute et moyenne activité et à vie longue dans la formation argileuse Callovo-Oxfordienne étudiée au moyen du laboratoire souterrain de Bure capable d'assurer, à court et à long terme, une protection satisfaisante de l'homme et de l'environnement, au sens de la RFS III.2.f. La démarche retenue par l'Andra vise à assurer le confinement de la radioactivité au plus près des déchets. Le groupe permanent considère que cette démarche est cohérente avec les objectifs fixés par la RFS précitée.

Le groupe permanent a plus particulièrement évalué les points critiques qu'il avait précédemment examinés lors des différentes réunions consacrées, depuis la Demande d'autorisation d'implanter et d'exploiter un laboratoire souterrain sur le site de Bure (DAIE), à la sûreté d'une éventuelle installation de stockage dans la formation argileuse étudiée.

Les données rassemblées par l'Andra apparaissent suffisantes, dans les différents scénarios envisageables pour le parc nucléaire actuel, d'une part pour estimer l'ordre de grandeur du nombre et du volume des colis de déchets de haute et moyenne activité et à vie longue ainsi que de combustibles usés qui pourraient être stockés, d'autre part pour décrire les caractéristiques des colis importantes pour la conception d'une installation de stockage sûre.

À l'échelle du laboratoire souterrain, les observations montrent que la roche argileuse n'est pas faillée et qu'elle présente une bonne continuité lithologique et une faible perméabilité. Ces caractéristiques et ses propriétés hydrodynamiques et chimiques lui confèrent des qualités intrinsèques favorables au confinement de la radioactivité.

L'Andra a identifié une « zone de transposition » où elle considère que les formations géologiques possèdent des propriétés équivalentes à celles observées à l'échelle du laboratoire souterrain. Pour cette zone, les données géologiques examinées laissent présager, dans la formation argileuse, l'existence de volumes de roche saine de faible perméabilité et de dimensions cohérentes avec l'architecture de stockage envisagée par l'Andra. Il n'a pas été mis en évidence, dans cette zone, de circulation d'eau depuis plusieurs millions d'années, au travers de la formation argileuse entre les couches calcaires qui l'encadrent.

Le secteur étudié ne présente pas de ressource naturelle connue aujourd'hui (gazière, pétrolière, charbonnière, minérale). Le groupe permanent considère qu'il n'y existe pas non plus de potentiel géothermique exploitable pour des raisons de salinité excessive ou de faible capacité de production d'eau des aquifères.

Les effets des principales perturbations, d'origine interne (thermiques, hydriques, mécaniques, chimiques, radiochimiques et liées au gaz) et d'origine externe (changements climatiques, érosion, séismes), ont été identifiés et n'apparaissent pas, en l'état actuel des connaissances sur les propriétés de la formation hôte, compte tenu des dispositions prévues par l'Andra, de nature à mettre en cause de manière importante le confinement du stockage. En particulier les effets possibles des

perturbations mécaniques et chimiques devraient rester limités aux ouvrages et à quelques mètres de roche en périphérie de ceux-ci.

La conception des scellements a été adaptée pour intercepter la zone fracturée par les travaux de creusement et des ordres de grandeur raisonnables de leurs performances de confinement ont été estimés. Des scellements possédant de telles performances permettraient d'éviter que les infrastructures du stockage constituent des chemins préférentiels de migration des radionucléides. Les performances estimées de ces scellements restent néanmoins à confirmer par des essais in situ en vraie grandeur.

Sur l'évolution à long terme des colis, l'Andra a présenté des modèles de comportement qui permettent une estimation raisonnable des relâchements d'activité.

Par ailleurs, pour ce qui concerne la sûreté de l'exploitation du stockage, les principes de conception retenus à l'égard des risques associés au transfert de colis, des risques d'incendie, des risques de criticité et des risques sismiques sont globalement satisfaisants.

Pour ce qui concerne l'identification et la prise en compte des incertitudes dans les évaluations de sûreté, le groupe permanent estime que celles-ci sont dans l'ensemble bien recensées dans le Dossier 2005 Argile et constate que l'Andra a adopté une démarche permettant de les couvrir de manière large, soit par le biais de dispositions de conception particulières, soit par l'adoption d'hypothèses majorant leurs effets et par l'étude des conséquences sur la sûreté globale de l'installation d'une perte partielle ou totale des fonctions des différents composants du stockage. Au vu des résultats de cette analyse, il apparaît qu'une éventuelle installation de stockage, implantée dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien et conçue selon les principes présentés par l'Andra, pourrait respecter les objectifs radiologiques de la RFS III.2.f.

**Le groupe permanent, considérant donc les avancées des études et des recherches ainsi que l'analyse de sûreté fondée sur les données scientifiques acquises, et prenant en compte l'ensemble des incertitudes, émet un avis favorable sur l'évaluation faite par l'Andra et estime qu'un stockage de déchets radioactifs dans la formation argileuse, dont l'étude se poursuit au moyen du laboratoire souterrain de Bure, est réalisable. Si une décision de principe sur le stockage géologique devait être prise par le Parlement en 2006, le groupe permanent considère qu'il n'existe pas d'obstacle du point de vue de la sûreté à la recherche d'un site de stockage dans la zone de transposition définie par l'Andra.**

Cependant, des compléments seront à apporter, au plus tard dans le dossier accompagnant, le cas échéant, la demande de création d'un stockage. Le groupe permanent considère qu'il est important de conduire à leur terme les observations et les expérimentations menées par l'Andra dans le laboratoire souterrain de Bure, en vue de confirmer les caractéristiques favorables de la roche hôte et la bonne compréhension des mécanismes qui gouvernent son comportement. En outre, le groupe permanent estime que, pour montrer la possibilité de mise en œuvre industrielle d'une installation de stockage sûre dans cette formation argileuse, il conviendrait notamment :

- de définir une stratégie de reconnaissance permettant en particulier d'identifier une éventuelle fracturation de la formation hôte et des formations géologiques qui l'encadrent ;
- d'améliorer la compréhension du comportement mécanique de la roche, notamment en lien avec les techniques de creusement, et des couplages entre les différents phénomènes ;
- de préciser le dimensionnement des composants métalliques du stockage (chemisage des alvéoles et (sur)conteneurs), des ouvrages de scellement ainsi que des soutènements des ouvrages de grande dimension ;
- de s'assurer, par exemple sur maquette, de l'efficacité du système de ventilation des alvéoles de déchets B et d'analyser les risques d'explosion dans ces alvéoles de stockage ainsi que dans les galeries attenantes. Il conviendra également de définir les dispositions permettant de remédier à une situation résultant de la chute d'un colis de déchets B lors de sa mise en place dans une alvéole ;
- dans le cas où le principe d'une phase de réversibilité serait retenu, de confirmer l'efficacité des dispositions permettant de reprendre, sans difficulté excessive, les colis de déchets pendant cette période ;



- d'améliorer la connaissance des écoulements souterrains et leur évolution à long terme dans les formations encaissantes au regard des calculs d'impact ;
- de poursuivre les travaux visant à conforter les hypothèses relatives aux biosphères envisageables sur le site retenu, notamment au regard des pratiques internationales.

Concernant ces deux derniers points, le groupe permanent observe qu'ils ne concernent pas l'installation de stockage à proprement parler, mais uniquement les calculs d'impact. À ce sujet, le groupe permanent constate que les calculs relatifs aux déchets B et C présentent des marges significatives au regard de la limite préconisée par la RFS III.2.f. Ces marges sont à ce stade moindres pour les combustibles usés.

Les études précitées devront notamment s'appuyer sur des essais dans la formation examinée et la réalisation de démonstrateurs d'ouvrages de stockage dans le laboratoire souterrain. Par ailleurs, le groupe permanent formule les recommandations jointes en annexe au présent avis.

**ANNEXE****RECOMMANDATIONS RELATIVES AU CONTENU D'UN  
EVENTUEL DOSSIER D'AUTORISATION DE CREATION D'UN  
STOCKAGE****A1 : Pour ce qui concerne les données de base :**

- poursuivre les travaux de modélisation des écoulements souterrains, afin de mieux apprécier l'évolution de la concentration des radionucléides lors de leur transfert dans les aquifères, préciser dans cet objectif le rôle hydraulique des structures principales identifiées (dont la zone de fracturation diffuse « Marne-Poissons ») et établir l'origine de la salinité des eaux des formations encadrant la formation hôte ;
- évaluer la possibilité et les conséquences de transferts localisés, à l'échelle du secteur, remettant en cause l'hypothèse d'homogénéité retenue dans les modélisations des écoulements dans les formations calcaires qui encadrent la formation hôte.

**A2 : Pour ce qui concerne les principales perturbations susceptibles d'affecter l'installation de stockage :**

- compléter les données sur les perméabilités relatives à l'eau et au gaz par des mesures caractéristiques de la formation du Callovo-Oxfordien, et valider, par une expérience en laboratoire souterrain, les résultats des modélisations de transfert de gaz in situ et leurs effets sur les scellements.

**A3 : Pour ce qui concerne la sûreté en phase d'exploitation du stockage :**

- examiner, dans le cadre des études d'optimisation de la radioprotection, les adaptations à apporter éventuellement aux systèmes de manutention envisagés (contrôle à distance notamment) en tenant compte des incidents possibles lors des opérations de transfert et de mise en place des colis dans les alvéoles ;
- définir les dispositions permettant d'éviter, en cas d'incendie, des réactions exothermiques dans les enrobés bitumés, y compris en cas d'incendie de l'engin de manutention dans l'alvéole de stockage ;
- poursuivre les études de sûreté-criticité en visant à établir les critères d'admissibilité des colis.

**A4 : Pour ce qui concerne la sûreté après la fermeture du stockage :**

- expliciter, eu égard aux situations représentatives des évolutions possibles du stockage et à leur vraisemblance, les jeux d'hypothèses retenus pour dimensionner les barrières de confinement et pour définir les scénarios permettant de vérifier l'acceptabilité du stockage.

**ANNEXE 7 - AVIS ASN DU 1ER FEVRIER 2006**



**DIRECTION GÉNÉRALE  
DE LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE  
ET DE LA RADIOPROTECTION**

Paris, le 1er février 2006

## **AVIS DE L'AUTORITE DE SURETE NUCLEAIRE SUR LES RECHERCHES RELATIVES A LA GESTION DES DECHETS A HAUTE ACTIVITE ET A VIE LONGUE (HAVL) MENEES DANS LE CADRE DE LA LOI DU 30 DECEMBRE 1991, ET LIENS AVEC LE PNGDR-MV**

Les conclusions que l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) retient de 15 ans de recherches menées dans le cadre de la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative à la recherche sur la gestion des déchets radioactifs sont explicitées ci-après. Les déchets radioactifs dans leur ensemble devant être gérés de façon sûre, claire et exhaustive, l'avis de l'ASN ne se limite pas aux seuls déchets radioactifs de haute activité et à vie longue.

### **1. Les dispositions de la loi du 30 décembre 1991**

Les dispositions de la loi du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs ont été codifiées aux articles L542-1 à L542-14 du code de l'environnement. Ces articles reprennent par conséquent les dispositions votées par le Parlement concernant le devenir de ces déchets.

Les articles L.542-1 et L.542-3 du code de l'environnement fixent les grandes orientations relatives aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs :

- la gestion des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue doit être assurée dans le respect de la protection de la nature, de l'environnement et de la santé, en prenant en considération les droits des générations futures ;
- des travaux sont menés selon trois axes :

a) la recherche de solutions permettant la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue présents dans ces déchets ;

b) l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains ;

c) l'étude de procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée en surface de ces déchets, dans l'attente d'une solution de gestion définitive de ces déchets.

Le Gouvernement a confié au Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) la mission de coordonner ces travaux. Les recherches menées selon les trois axes bénéficient de la contribution d'autres acteurs tant en France (notamment le CNRS) qu'à l'étranger. Des dossiers relatifs à ces trois axes ont été établis à l'échéance de la loi.

## 2. Rôle de l'ASN et de ses appuis techniques

La vocation de l'Autorité de sûreté nucléaire est d'assurer, au nom de l'Etat, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour protéger les travailleurs, le public et l'environnement des risques liés à l'utilisation du nucléaire et contribuer à l'information des citoyens.

En ce qui concerne les déchets radioactifs, les préoccupations de l'ASN sont les suivantes :

- la sûreté de toutes les étapes de la gestion des déchets radioactifs ;
- la cohérence de la gestion de l'ensemble des déchets radioactifs ;
- le développement de filières adaptées aux différentes catégories de déchets.

Dans ce contexte, le ministre de l'écologie et du développement durable a confié en 2003 à l'ASN la mission d'élaborer le Plan national de gestion des déchets radioactifs et des matières valorisables (PNGDR-MV) pour fournir un cadre global et cohérent à la gestion de l'ensemble des déchets radioactifs.

Pour ce qui concerne plus particulièrement les déchets de haute activité et à vie longue, les missions de l'ASN ont notamment concerné l'examen et le contrôle des projets correspondants pour évaluer s'ils apportent une solution technique crédible et acceptable sur le plan de la sûreté à long terme :

### - Séparation et transmutation des radionucléides à vie longue

L'ASN a veillé à ce que les expérimentations menées dans le cadre du programme de recherche sur la séparation et la transmutation des éléments à vie longue, effectuées notamment dans les installations Phénix et Atalante, soient conduites dans des conditions de sûreté satisfaisantes.

### - Conditionnement et entreposage de longue durée

L'ASN a contrôlé, du point de vue de la sûreté, les recherches menées par le CEA sur l'entreposage de longue durée et le conditionnement des déchets HAVL.

### - Stockage en formation géologique profonde

Une règle fondamentale de sûreté (RFS III.2.f<sup>1</sup>) relative au stockage géologique des déchets radioactifs en formation géologique profonde a été émise par l'ASN en juin 1991 pour définir les objectifs qui doivent être retenus pour permettre d'assurer la sûreté à long terme du stockage. L'ASN et ses appuis techniques ont procédé à l'examen des dossiers émis par l'ANDRA au cours des 15 ans de recherche. Ces examens ont conduit l'ASN à transmettre des avis au Gouvernement relatifs à la décision de construire le laboratoire de Bure, à formuler des demandes à l'ANDRA pour la poursuite des études nécessaires à l'établissement des dossiers dus à l'échéance de 2005 et à délivrer les approbations ministérielles des différentes phases de construction du laboratoire souterrain. L'ASN a également procédé à des inspections sur le site de Bure qui lui permettent de se prononcer sur la qualité des investigations réalisées et sur la limitation des perturbations engendrées sur les formations géologiques par la construction du laboratoire souterrain.

---

1. Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires - 10 Juin 1991- Règle n°III.2.f - Stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde

### 3. Avis de l'ASN sur l'état d'avancement des 3 axes de recherche de la loi du 30 décembre 1991

#### Axe n° 1 : La séparation et la transmutation

Le retraitement d'une partie des combustibles irradiés dans les réacteurs d'EDF ou du CEA a conduit de fait à une première séparation des radionucléides contenus dans ces combustibles. L'uranium et le plutonium sont ainsi récupérés et les actinides mineurs et les produits de fission font l'objet d'un conditionnement dans une matrice en verre.

Les travaux de recherche sur la séparation des radionucléides à vie longue ont permis de démontrer la faisabilité de la séparation poussée des actinides mineurs (neptunium et américium-curium), à l'issue d'un ensemble d'essais réalisés sur des solutions de combustibles dissous, dans l'installation Atalante de Marcoule. La faisabilité de la séparation de certains produits de fission comme l'iode a également été démontrée, la séparation du technétium étant restée partielle à l'échelle du laboratoire.

La faisabilité scientifique de la transmutation des actinides mineurs a été démontrée, notamment grâce à la bonne connaissance des rendements de transmutation issue du développement de la physique des réacteurs. Ces mêmes études théoriques font apparaître que la transmutation des produits de fission à vie longue, susceptibles pour certains d'entre eux de présenter une plus grande mobilité dans un stockage en formation géologique, présente un rendement faible et que sa mise en œuvre présente donc un caractère peu réaliste. Les travaux se poursuivent pour démontrer la faisabilité technologique de la transmutation. Ils sont menés en France dans le réacteur Phénix du CEA de Marcoule. Le réacteur Phénix a été autorisé à fonctionner pour une durée équivalente à 720 jours équivalent pleine puissance à compter de son démarrage en 2003. L'ASN estime qu'il n'est pas envisageable, compte tenu de l'ancienneté de ce réacteur, d'autoriser une prolongation de sa durée de vie.

Au-delà de ces études sur la faisabilité scientifique, le passage à une phase industrielle de la séparation poussée des actinides mineurs et de certains produits de fission et leur transmutation nécessiterait :

- des efforts de recherche significatifs ;
- la prise de décisions concernant la politique énergétique et notamment le choix de filières de production d'électricité compatibles avec la transmutation de certains radionucléides ;
- des investissements importants pour la construction d'installations mettant en œuvre les procédés de séparation et de transmutation.

Le passage à une phase industrielle de ces procédés ne pourrait raisonnablement pas intervenir avant plusieurs décennies (2040 – 2050) et ne concernerait pas la totalité de l'inventaire des déchets de haute activité et à vie longue. De plus, la séparation et la transmutation génèreraient des déchets résiduels.

Par ailleurs, la reprise, en vue de leur traitement par séparation puis transmutation, des colis de déchets déjà produits et conditionnés n'est pas souhaitable pour des raisons de sûreté, de radioprotection et de coût. Ces colis doivent donc faire par ailleurs l'objet d'une solution de gestion définitive.

**Dans ces conditions, l'ASN considère que la faisabilité technologique de la séparation et de la transmutation n'est pas acquise à ce jour. Même en cas de mise en œuvre d'une telle solution, l'élimination des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue ne sera pas totale. Une autre solution de référence est nécessaire.**

### **Axe n° 3 : Conditionnement et entreposage de longue durée**

L'entreposage sur des périodes pouvant aller jusqu'à 60 ans de certains colis de déchets radioactifs à fort dégagement thermique est une phase incontournable avant une solution de gestion définitive. Les installations d'entreposage devront être entretenues de façon à maintenir l'intégrité des barrières de confinement de la radioactivité dans les colis de déchets.

Dans le cadre des recherches sur l'entreposage de longue durée prévues par la loi du 30 décembre 1991, le CEA a étudié des concepts d'entreposages dont la durée de vie irait jusqu'à 300 ans.

Des dossiers remis par le CEA en 2005, il apparaît que, pour ce qui concerne les principes de conception, la maîtrise dans le temps de la sûreté d'un entreposage doit reposer, comme pour l'ensemble des INB, sur des réexamens périodiques permettant de tenir compte, d'une part, du retour d'expérience de l'installation elle-même et des installations similaires, d'autre part, de l'évolution des réglementations, des règles de sûreté et des connaissances. En pratique, sur la base du retour d'expérience relatif à l'évolution des différents codes et standards et des pratiques de sûreté au cours des dernières décennies, cela suppose que le concepteur d'un entreposage de longue durée prévoie des marges de dimensionnement significatives.

Le CEA a pris en compte les risques de perte de la maîtrise technique de l'installation et le risque d'abandon de l'installation. Le scénario de perte de la maîtrise technique correspond à l'absence de maintenance et à une surveillance limitée à celle assurée pour des durées allant de quelques mois à dix ans. La justification de l'acceptabilité d'un tel scénario reste toutefois à préciser, compte tenu notamment du risque d'explosion dû au dégagement de gaz de radiolyse de certains déchets de moyenne activité à vie longue. Pour le scénario d'abandon complet et définitif de l'installation, le CEA conclut que, dans tous les cas, les conséquences d'une telle situation sont inacceptables. Les entreposages de longue durée supposent l'instauration d'un contrôle institutionnel sur la durée de vie des entreposages en question qui ne peut pas être garanti a priori sur des périodes supérieures à quelques centaines d'années et reporte la charge correspondante sur les générations futures.

Enfin, dans tous les cas, les calculs des conséquences d'événements du point de vue de la sûreté, de type séisme, inondation externe ou chute d'avion, ne pourront être évaluées que lorsqu'un éventuel site aura été reconnu.

Les recherches menées sur l'étude des procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée de ces déchets confirment que l'entreposage est une étape nécessaire pour permettre le refroidissement de certains colis de déchets avant leur stockage en formation géologique profonde.

En revanche, l'ASN estime qu'il ne serait pas raisonnable de retenir comme solution de référence la solution consistant à renouveler plusieurs fois un entreposage de longue durée, car elle suppose le maintien d'un contrôle de la part de la société et la reprise des déchets par les générations futures, ce qui semble difficile à garantir sur des périodes de plusieurs centaines d'années.

**Dans ces conditions, l'ASN considère que l'entreposage de longue durée ne peut pas constituer une solution définitive pour la gestion des déchets radioactifs de haute activité à vie longue.**

## **Axe n° 2 – Le stockage en formation géologique profonde**

- **Objectifs de sûreté et de réversibilité d'un stockage**

Le stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde a pour objectif de mettre en place, sans intention de les reprendre, des colis de déchets radioactifs dans une installation souterraine implantée dans une couche géologique dont les propriétés permettent de confiner les substances radioactives contenues dans les colis de déchets. L'installation de stockage est conçue de telle sorte que la sûreté soit assurée de manière passive sans dépendre d'un contrôle institutionnel qui ne peut être garanti au delà d'une période de temps limitée. La profondeur des ouvrages de stockage doit être telle qu'ils ne puissent être affectés de façon significative par les phénomènes naturels externes attendus (érosion, changements climatiques, ...) ou par des activités humaines banales.

L'article L 542-3 du code de l'environnement demande que les conditions de réversibilité du stockage soient étudiées. Un stockage réversible offre, de par sa conception et la qualité de la compréhension que l'on en a, des possibilités de choix aux différentes étapes de sa réalisation et de son exploitation, au cours de la mise en place des colis de déchets et avant de décider la fermeture du stockage. Les dispositions de réversibilité visent à accroître la confiance dans le bon fonctionnement du stockage sans obérer les choix que pourra faire la société quant au devenir de l'installation. La réversibilité ne doit pas conduire à diminuer les dispositions de sûreté mises en œuvre.

- **Objectif du dossier 2005 argile**

Le dossier argile établi par l'ANDRA, à l'échéance de la loi du 30 décembre 1991, vise à évaluer la faisabilité d'un stockage dans l'argile du Callovo-Oxfordien de la région de Bure. Il se fonde sur :

- l'inventaire et la connaissance des colis de stockage qui comprennent des colis de déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue ainsi que des conteneurs de combustibles usés qui ne feraient pas l'objet d'un retraitement ;
- les résultats des investigations menées dans le laboratoire souterrain de Bure ;
- une architecture de stockage qui assure une exploitation sûre et un impact dosimétrique minimal sur la biosphère.

Pour atteindre son objectif, le stockage doit remplir trois fonctions : s'opposer à la circulation des eaux, limiter le relâchement des radionucléides et les immobiliser à l'intérieur du stockage le plus longtemps possible, retarder et limiter leur migration afin de tirer partie de la décroissance radioactive avec le temps.

- **Position de l'ASN sur la faisabilité, la sûreté et la qualité des recherches menées à Bure**

Le dossier 2005 argile, remis par l'ANDRA à ses ministres de tutelle, en juin 2005, a été instruit par l'IRSN et a fait l'objet d'un avis du groupe permanent d'experts en charge des déchets radioactifs dans la séance du 12 au 13 décembre 2005. Ces examens mettent en évidence que des résultats majeurs relatifs à la faisabilité et à la sûreté d'un stockage ont été acquis sur le site de Bure.

### **- Les formations géologiques du site**

A l'échelle du laboratoire souterrain, les méthodes de géophysique (sismique 3D) et les résultats des forages complétés par les observations récentes en laboratoire souterrain



montrent que la roche argileuse présente une bonne continuité géologique et une faible perméabilité et confirment l'absence de fracturation. Ses caractéristiques et ses propriétés hydrodynamiques et chimiques lui confèrent des qualités intrinsèques favorables au confinement de la radioactivité.

Une « zone de transposition » où les formations géologiques possèderaient des propriétés équivalentes à celles observées à l'échelle du laboratoire souterrain a été identifiée par l'ANDRA pour l'implantation d'un stockage. Pour cette zone, les données géologiques examinées laissent en effet présager, dans la formation argileuse, l'existence de volumes de roche saine de faible perméabilité et de dimensions cohérentes avec l'architecture de stockage envisagée par l'ANDRA.

Le secteur étudié ne présente pas de ressource naturelle connue aujourd'hui (gazière, pétrolière, charbonnière, minérale) pouvant augmenter la probabilité d'interférences entre l'exploitation de ces ressources et un éventuel stockage. Il n'y existe pas non plus de potentiel géothermique exploitable pour des raisons de salinité excessive et de faible production d'eau des aquifères.

#### **- L'architecture du stockage**

L'ASN considère que les options de conception d'un stockage, retenues par l'ANDRA au stade actuel des études, sont de nature à utiliser de manière satisfaisante les propriétés favorables de la roche hôte en limitant les effets des perturbations thermiques, mécaniques, hydrauliques et chimiques résultant de la présence des déchets ou d'origine externe. Elles sont cohérentes avec la RFS III.2.f. Le volume nécessaire pour l'implantation du stockage s'appuie sur l'estimation de l'inventaire des colis de déchets à accueillir dans le stockage, elle-même fondée sur des bases réalistes.

La conception des scellements des ouvrages a été adaptée pour éviter que la zone perturbée par les travaux de creusement ne constitue un chemin préférentiel de migration pour les radionucléides. Des ordres de grandeur raisonnables des performances de ces scellements ont été présentés.

Pour ce qui concerne la sûreté de l'exploitation du stockage, les principes de conception retenus à l'égard des risques envisagés sont globalement satisfaisants.

#### **- La réversibilité du stockage**

L'ANDRA estime que la réversibilité du stockage pourrait être assurée sur deux à trois siècles. Sur la base des conclusions de l'examen par le groupe permanent d'experts pour les déchets et d'une instruction du dossier Argile 2005 par l'IRSN, l'ASN ne considère pas que, dans l'état actuel des recherches, la possibilité de reprendre aisément les colis de déchets est acquise sur une aussi longue période. Si une phase de réversibilité est retenue, l'ANDRA devra donc confirmer la possibilité de la reprise de colis de déchets durant cette phase tout en respectant les objectifs de sûreté et de radioprotection.

L'ASN considère, sur le plan des principes, que la réversibilité ne peut avoir qu'une durée limitée. En effet, 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 notion et, peut être même à long terme, la sûreté du stockage qui est basée sur la capacité de la roche hôte à confiner la radioactivité contenue dans les déchets sur de longues périodes de temps.

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.

Par ailleurs, il paraît a priori difficile de garantir la pérennité des dispositions permettant la réversibilité sur une période supérieure à 300 ans. En effet, la réversibilité impose le maintien d'une gestion active du stockage pendant toute la phase de réversibilité pour en assurer au minimum la surveillance et la maintenance, assortie d'un contrôle institutionnel afin d'éviter l'abandon du stockage avant sa fermeture.

#### **- Analyse de sûreté**

Les incertitudes dans les évaluations de sûreté, fondées sur les données scientifiques acquises, ont été dans l'ensemble bien identifiées, recensées et prises en compte. Au vu des résultats de ces évaluations, il apparaît qu'une éventuelle installation de stockage, implantée dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien et conçue selon les principes présentés par l'ANDRA, devrait répondre, à court et à long terme, aux objectifs radiologiques de la RFS III.2.f.

**Ainsi, l'ASN considère que le stockage en formation géologique profonde est une solution de gestion définitive qui apparaît incontournable.**

L'ASN juge qu'il apparaît désormais raisonnable, si le Parlement décide du principe du stockage géologique des déchets de haute activité et à vie longue, de rechercher un périmètre propice pour leur stockage dans la zone de transposition définie par l'ANDRA au nord et à l'ouest du laboratoire de Bure. En effet, les résultats obtenus indiquent la forte probabilité de pouvoir démontrer la sûreté d'une installation de stockage sur la zone de transposition précitée.

#### **• Compléments à apporter**

L'ASN considère que de nombreux points seront à approfondir pour montrer la possibilité de mise en œuvre industrielle d'une installation de stockage, et pour établir le dossier de sûreté qui serait à associer à une éventuelle demande de création d'une installation de stockage.

#### ***Dans la zone de transposition :***

Une stratégie de reconnaissance est à définir pour identifier des volumes de roche pour lesquels la fracturation est absente ou peut être compensée en adaptant l'architecture de stockage, sans pénaliser la sûreté, et pour définir ainsi la localisation et l'emprise du stockage. La compréhension des écoulements souterrains dans les formations encaissantes devra être améliorée.

#### ***Dans le laboratoire souterrain de Bure :***

La compréhension du comportement mécanique de la roche, notamment en lien avec les techniques de creusement, devra être améliorée par des expériences in situ. Les performances des ouvrages de scellement devront être confirmées et les résultats des modélisations de transfert de gaz in situ et leurs effets sur les scellements devront être validés également par des expériences in situ.

Le bien fondé des choix de concepts de stockage devra être confirmé par des démonstrateurs d'ouvrages de stockage et des études relatives à la sûreté, tant en phase d'exploitation qu'après fermeture, notamment pour les dispositifs de ventilation permettant de limiter le risque d'explosion dû à la présence de gaz de radiolyse.

Les dispositions de sûreté en exploitation, notamment le dimensionnement des soutènements et le système de ventilation, devront être précisées.

La reprise des colis de déchets dans les alvéoles de stockage et les dispositions de sûreté en exploitation devront notamment faire l'objet d'essais en laboratoire souterrain.

- **Avis sur le granite**

L'examen du dossier 2005 granite, établi par l'ANDRA sur la base des connaissances bibliographiques des milieux granitiques français et des études menées à l'étranger, montre que les formations granitiques sont susceptibles d'offrir des caractéristiques favorables à l'implantation d'un stockage, du point de vue de la tenue mécanique et thermique. Néanmoins, peu de formations françaises ont été reconnues en profondeur, et en conséquence, des connaissances importantes resteraient à acquérir, notamment du point de vue de leur degré de fracturation et de leurs propriétés hydrauliques.

**La recherche d'un site granitique en vue d'y implanter un second laboratoire ne paraît pas toutefois prioritaire du point de vue de la sûreté, notamment compte tenu des propriétés favorables reconnues sur le site de Bure.**

#### **4. Les grandes étapes après 2006 pour le stockage géologique**

L'ASN considère que le stockage devrait avoir le statut d'installation nucléaire de base. Elle considère qu'il est important que les études menées après 2006 présentent un caractère opérationnel et conduisent rapidement à un projet industriel. Il est en effet nécessaire de maintenir les compétences en fixant des échéances à des dates qui ne se situent pas dans un avenir trop lointain. La définition précise de l'architecture du stockage et la localisation des ouvrages ne pourront être finalisées avant une investigation approfondie de la zone de stockage. L'ASN envisage donc après 2006 les étapes suivantes, cohérentes avec le calendrier indicatif proposé par l'OPECST dans son rapport de mars 2005 « Pour s'inscrire dans la durée, une loi en 2006 sur la gestion durable des déchets radioactifs » :

**Période 2006-2011 :** L'ANDRA poursuivra les expérimentations dans le laboratoire souterrain de Bure et recherchera l'emplacement favorable à l'implantation d'une éventuelle installation de stockage dans la zone de transposition.

**Période 2011-2016 :** Cette période serait consacrée à la préparation et au dépôt par l'ANDRA d'une demande d'autorisation de création de l'installation de stockage, puis à l'examen par l'ASN de cette demande.

**Période 2016-2023 :** Après avoir obtenu l'autorisation de création de l'installation de stockage, l'ANDRA pourrait procéder à sa construction.

**Période 2023 et au delà :** L'installation de stockage pourrait être mise en exploitation.

## 5 – PNGDR-MV

Reprenant une recommandation de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, l'ASN a proposé en 2003 d'étudier la faisabilité d'un Plan national de gestion des déchets radioactifs. La ministre de l'écologie et du développement durable a annoncé le lancement du plan en Conseil des ministres le 4 juin 2003. L'ASN a piloté l'élaboration, pour les pouvoirs publics, du Plan national de gestion des déchets radioactifs et des matières valorisables (PNGDR-MV) en réunissant un groupe de travail constitué d'élus, de producteurs de déchets, de gestionnaires de déchets radioactifs ou non radioactifs, de directions des ministères concernés, d'experts techniques et d'associations de protection de l'environnement.

Les principaux objectifs du PNGDR-MV sont de :

- définir les déchets à considérer comme radioactifs, compte tenu de l'existence d'une radioactivité naturelle d'intensité variable et de certaines matières radioactives dont la réutilisation n'a pas été envisagée ;
- rechercher des solutions de gestion pour l'ensemble des déchets radioactifs, quel que soit leur producteur ;
- analyser des solutions de gestion à long terme mises en œuvre par le passé et examiner la justification éventuelle d'une intervention si des améliorations étaient nécessaires ;
- veiller à la cohérence de l'ensemble du dispositif de gestion des déchets radioactifs ;
- permettre la prise en charge de l'ensemble des déchets radioactifs dans des filières adéquates, y compris quand le responsable du déchet n'a pas les moyens de les adresser à l'ANDRA, en reconnaissant la mission de service public de l'ANDRA.

Un projet de PNGDR-MV a été finalisé en janvier 2006 par le groupe de travail, proposant des recommandations au Gouvernement, mais aussi aux producteurs des déchets radioactifs et des matières valorisables en vue d'en assurer une gestion sûre, claire et exhaustive.

Une première conclusion du projet de PNGDR-MV, tel qu'il a été finalisé en janvier 2006, porte sur la nécessité de disposer à l'horizon 2012 d'une filière de gestion à long terme pour les déchets de faible activité à vie longue, constitués principalement des déchets de graphite qui seront produits par le démantèlement des réacteurs uranium naturel graphite gaz et des déchets radifères issus du traitement de terres rares et des minerais d'uranium ou de zircon.

De plus, il apparaît nécessaire que les détenteurs de matières valorisables mènent, d'ici à 2010, à titre de précaution, des études sur les filières possibles de gestion si ces matières venaient à être considérées comme des déchets. Ces matières valorisables sont principalement constituées des combustibles usés, de l'uranium appauvri et de l'uranium de retraitement. Un point devrait être établi d'ici 2008 par les détenteurs de matières valorisables pour lesquelles les procédés de valorisation sont encore à l'étude et n'ont jamais été mis en œuvre.

Le projet de PNGDR-MV recommande la poursuite des études visant à disposer de solutions de gestion à long terme pour l'ensemble des sources scellées usagées. Ces études devront être finalisées à l'horizon 2009.

**ANNEXE 8 - LETTRE ANDRA DG/10-0324 DU 16 NOVEMBRE 2010**



Châtenay-Malabry, le 16 novembre 2010

Monsieur André-Claude LACOSTE  
Président de l'Autorité de Sûreté Nucléaire

6, place du Colonel Bourgoïn

75572 PARIS Cedex 12

La directrice générale

Tél. 01 46 11 80 00

Réf : Lettre Andra/DG/10-0013 du 19 janvier 2010

N/réf : DG/DIR/10-0324

Objet : Dossier jalon 2009 Projet HA-MAVL – Engagements de l'Andra

Monsieur le Président,

Dans le cadre de l'instruction des dossiers du jalon 2009 transmis par lettre citée en référence, vous trouverez en annexe à la présente les engagements que l'Andra propose de prendre selon une structuration permettant de distinguer les thématiques (notamment en phase d'exploitation et après fermeture). Ces engagements ont fait l'objet d'échanges avec l'IRSN.

Ces engagements s'inscrivent dans le processus de conception du projet de centre industriel de stockage géologique (Cigéo) porté par l'Andra. Compte tenu du caractère original de cette installation, ce processus diffère notablement de celui d'installations nucléaires plus classiques. Ainsi, les engagements pris par l'Andra dans la présente lettre, dans le cadre de l'instruction du « dossier 2009 », interviennent à un stade du projet où l'architecture n'est pas encore figée, et où des options de conception sont encore susceptibles d'évoluer :

- d'une part d'ici la demande d'autorisation de création, notamment pour prendre en compte les retours de l'instruction du dossier 2009 et les éléments qui seront arrêtés dans les phases d'avant-projet,
- d'autre part au-delà de l'autorisation de création et pendant toute la durée de vie du stockage. En effet, compte tenu des progrès techniques attendus pendant la durée d'exploitation du stockage et de la demande de réversibilité, l'Andra privilégie un concept de stockage permettant une construction progressive.

.../2

Dans ce contexte, l'Andra formulera en 2014 une demande d'autorisation de création portant sur l'ensemble du stockage (dimensionné à partir de l'inventaire présenté dans le modèle d'inventaire de dimensionnement (MID), sur la base d'un dossier présentant :

- une conception d'ensemble du stockage, qui permettra d'asseoir la démonstration de sûreté après fermeture, et de dimensionner les premiers ouvrages qui seront réalisés,
- un premier sous-ensemble de ce stockage, borné dans le temps, adapté à un management de projet industriel. Ce sous-ensemble est désigné comme la « tranche 1 » et correspond aux travaux nécessaires à la mise en service et au démarrage de l'exploitation du centre de stockage (réalisation d'installations d'accueil des colis en surface, des liaisons jour-fond, des équipements support en surface et en souterrain, des premières galeries et alvéoles de stockage).

Le planning des études de la tranche 1 est contraint d'une part par le calendrier de choix de site (validation du choix de site après le débat public prévu fin 2012) et d'autre part par la future loi sur les conditions de réversibilité, qui interviendra après le dépôt de la demande d'autorisation de création et qui pourra éventuellement conduire à des modifications d'options.

Par conséquent, le dossier de la tranche 1, que l'Andra prévoit de déposer en 2014 comportera des études de niveau avant projet sommaire (APS), intégrant des approfondissements détaillés sur les points identifiés comme sensibles dans le dossier « jalon 2009 », ie le confinement et la ventilation, la gestion de l'incendie et de la co-activité. Ce dossier comprendra également des propositions concernant les modalités de mise en œuvre de la réversibilité. Ce dossier sera complété, après la loi sur les conditions de réversibilité, en vue de l'autorisation de création, en intégrant les études de niveau avant projet détaillé (APD) pour la tranche 1.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes salutations distinguées.



Marie-Claude DUPUIS

## **ENGAGEMENTS ANDRA**

### **1 DANS LE DOSSIER ACCOMPAGNANT LA DAC**

#### **1.1 MISE A JOUR DU MID**

*E1 : Pour ce qui concerne le modèle d'inventaire de dimensionnement*

L'Andra définira, les critères de sûreté essentiels pour l'acceptation des colis de déchets dans l'installation de stockage. Le modèle d'inventaire de dimensionnement présenté par l'Andra dressera la liste des colis déjà produits qui ne semblent pas respecter ces critères essentiels. L'Andra définira également sur cette base, en liaison avec les producteurs, les solutions techniques de conditionnement, disponibles ou devant être qualifiées au moyen d'un programme de R&D, pour que ces déchets ainsi conditionnés puissent être acceptés en stockage.

#### **1.2 MISE A JOUR DE LA DEMARCHE DE SURETE**

*E2 : Pour ce qui concerne la démarche de sûreté pour la phase d'exploitation du stockage*

E2.1 Dans le cadre du processus décisionnel associé à la réversibilité, l'Andra définira des critères associés au passage d'un niveau d'échelle de récupérabilité à un autre, mesurables au moyen d'un programme d'observation et de surveillance de l'installation.

E2.2 L'Andra précisera les critères de sélection de scénarios « de dimensionnement » ou « hors dimensionnement ». En tout état de cause, l'Andra justifiera les situations qui ne seront pas retenues pour le dimensionnement de l'installation.

#### **1.3 MISE A JOUR DE L'ANALYSE DE RISQUES EN EXPLOITATION**

*E3 : Pour ce qui concerne les risques liés à l'évolution des matériaux*

E3.1 L'Andra présentera la méthode retenue pour prendre en compte le vieillissement des composants des installations souterraines et de liaison jour-fond lors de l'exploitation du stockage.

E3.2 L'Andra tiendra compte de la température à laquelle seront soumis les bétons de soutènement/revêtement pendant une durée séculaire, dans son analyse des risques liés au vieillissement des bétons.

E3.3 L'Andra précisera si l'étanchéité du chemisage de l'alvéole HA est retenue en tant qu'exigence de sûreté, la durée associée à cette exigence, ainsi que la solution technique retenue.



**E4 : Pour ce qui concerne les risques liés à la dissémination de matières radioactives**

E4.1 L'Andra définira les exigences de sûreté associées à la deuxième barrière de confinement statique en tenant compte notamment de la défaillance du colis primaire en tant que première barrière de confinement, ainsi que les solutions techniques retenues.

E4.2 L'Andra présentera les principes du pilotage de la ventilation et les dispositifs prévus pour ajuster les paramètres de ventilation et équilibrer le réseau dans toutes les situations de la phase d'exploitation du stockage.

**E5 : Pour ce qui concerne les risques liés au dégagement thermique**

L'Andra complètera la présentation des critères de température retenus et les dispositions prévues pour maîtriser les risques liés aux dégagements thermiques, et indiquera le rôle dévolu aux systèmes de ventilation quant au respect de ces critères, dans toutes les situations de fonctionnement.

**E6 : Pour ce qui concerne les risques liés à l'exposition interne et externe**

L'Andra justifiera que la zone de travaux peut être considérée comme une zone non réglementée, à partir des résultats des études de l'exposition du personnel de la zone de travaux aux postes de travail considérés comme dimensionnants.

**E7 : Pour ce qui concerne les risques liés à l'incendie**

E7.1 L'Andra présentera sa démarche d'analyse des risques liés à l'incendie, en considérant d'une part les exigences de sûreté applicables aux INB de surface, d'autre part celles applicables aux ouvrages souterrains (mines, tunnels). Le référentiel ainsi formé portera sur la prévention et la limitation des risques liés à l'incendie, pouvant avoir des conséquences à l'intérieur et à l'extérieur de l'installation nucléaire souterraine.

E7.2 L'Andra justifiera la capacité des dispositions de protection contre l'incendie (DPCI) à prévenir et à limiter les conséquences des incidents ou accidents liés à l'incendie, pour toutes les « cibles de sûreté » (colis, composants dont une agression entraînerait une diminution du niveau de sûreté de l'installation...).

L'Andra précisera les dispositions de détection des départs de feu dans la zone de travaux et justifiera le cas échéant l'absence de telles dispositions dans les alvéoles MAVL.

*Pour Rappel, la justification de l'absence de telles dispositions est imposée par l'Arrêté 311299 art 43 II ; l'Andra l'a de fait prévu.*

E7.3 L'Andra justifiera le caractère enveloppe des effets des incendies qui seront retenus pour le dimensionnement des dispositions de protection contre l'incendie.

E7.4 L'Andra précisera les principes de sectorisation et les exigences associées pour les locaux présentant les dangers d'incendie les plus importants ou à maintenir à l'abri des effets d'un incendie, notamment dans la zone centrale de soutien et les installations de liaison jour-fond, et présentera les dispositions permettant d'éviter la propagation d'un incendie entre la cellule de manutention et la partie utile de l'alvéole MAVL associée.

E7.5 L'Andra présentera l'ensemble des principes de désenfumage retenus, ainsi qu'une justification de l'efficacité du concept de désenfumage retenu. L'Andra justifiera l'adéquation des systèmes de désenfumage aux objectifs liés à l'évacuation du personnel, à la protection des équipes d'intervention, et à la protection des « cibles de sûreté » pour l'ensemble des zones du stockage.

**E8 : Pour ce qui concerne les risques liés à l'explosion**

E8.1 L'Andra clarifiera sa démarche d'analyse des risques liés à l'explosion. L'Andra définira sur cette base les dispositions visant à maîtriser les risques d'explosion et à en limiter les conséquences, en tenant compte des différentes sources possibles d'inflammation, et des diverses situations de fonctionnement, incluant notamment le cas d'un arrêt de la ventilation.

E8.2 L'Andra justifiera (i) les durées maximales d'immobilisation des colis émetteurs de gaz de radiolyse en transit et (ii) les durées maximales d'indisponibilité des systèmes de ventilation, afin d'apprécier les risques d'explosion. Ces durées seront définies avec des marges suffisantes.

E8.3 L'Andra justifiera le caractère enveloppe des situations à risque d'explosion dans les alvéoles MAVL retenues pour le dimensionnement, en prenant notamment en compte toutes les sources de dégagement d'hydrogène, leur contribution à la formation d'une ATEX, et le cas échéant l'accumulation d'hydrogène dans les singularités des circuits de retour d'air des alvéoles MAVL en cas de panne prolongée de la ventilation.

E8.4 L'Andra justifiera le lieu de charge des batteries des engins de manutention des alvéoles MAVL et, le cas échéant, l'absence de matériels ATEX dans la cellule de manutention des alvéoles MAVL.

**E9 : Pour ce qui concerne les risques liés aux opérations de manutention**

E9.1 L'Andra présentera l'étude de situations de blocage de la chaîne cinématique de stockage des colis ainsi que les dispositions retenues pour prévenir ces situations et en limiter les conséquences.

E9.2 L'Andra présentera un ensemble d'éléments et autant que possible des résultats d'essais, visant à montrer que les options retenues pour la manutention des colis dans les alvéoles MAVL peuvent être mises en œuvre à l'échelle industrielle dans des conditions de sûreté satisfaisantes.

**E10 : Pour ce qui concerne les risques liés à l'inondation d'origine interne**

L'Andra évaluera les quantités d'eau attendues dans le stockage pendant sa période d'exploitation, en prenant en compte les différentes sources potentielles, qu'elles soient associées au milieu géologique, à l'exploitation quotidienne du stockage, ou qu'elles soient générées lors d'incidents (rupture de canalisation, extinction d'incendie...), et spécifiera sur cette base les dispositions retenues pour maîtriser ces venues d'eau.

**E11 : Pour ce qui concerne les risques liés à la co-activité, l'Andra complètera son analyse des risques en intégrant notamment les éléments suivants**

E11.1 L'Andra présentera les exigences de sûreté et le dimensionnement des séparations physiques entre la zone de travaux et la zone nucléaire (incluant les sas et les gaines d'extraction d'air des alvéoles MAVL le cas échéant), justifiés au regard des risques liés à la co-activité.

E11.2 L'Andra justifiera le positionnement et le nombre des sas marquant la séparation physique entre la zone nucléaire et la zone de travaux.

E11.3 L'Andra justifiera que les options de conception et les options de sûreté relatives aux galeries de retour d'air des sous-zones de stockage MAVL permettent de maîtriser les risques liés à la co-activité, dans la zone nucléaire (gaines) et dans la zone de travaux (galeries).

E11.4 Les travaux effectués dans la zone nucléaire mettant notamment en œuvre des moyens de transfert et de chantier lourds (reprises de béton dans les galeries, maintenance de composants et de gros équipements du stockage, fermetures d'alvéoles...) feront l'objet d'une analyse des risques ; ce type d'activité sera inclus dans le domaine de fonctionnement normal de l'installation.

**E12 : Pour ce qui concerne les risques liés à la perte d'auxiliaires**

L'Andra considèrera, dans son analyse de l'origine des risques liés à la perte des moyens de contrôle et de surveillance, la perte des systèmes de ventilation.

**E13 : Pour ce qui concerne les risques liés aux séismes**

E13.1 L'Andra justifiera son évaluation de la période de retour des séismes associés aux spectres de référence SMS et SMP et les modalités de prise en compte des incertitudes associées aux vitesses des failles.

E13.2 L'Andra présentera une évaluation quantifiée du comportement du stockage en cas de séisme pendant la phase d'exploitation, afin de vérifier qu'il demeure acceptable au regard des exigences associées aux différents ouvrages et équipements. Cette évaluation devra être établie notamment sur la base de combinaisons d'actions correspondant aux différentes situations de fonctionnement de l'installation.

**E14 : Pour ce qui concerne les risques liés à l'inondation d'origine externe**

E14.1 L'Andra présentera les mesures de prévention et les dispositions pour remédier au colmatage des drains du revêtement des liaisons jour-fond pendant toute la durée de la phase d'exploitation ; celles-ci seront définies sur la base du retour d'expérience acquis notamment au Laboratoire souterrain et seront associées au programme de surveillance des ouvrages de liaison jour fond comprenant notamment le suivi piézométrique des aquifères drainés. Compte tenu de ces dispositions, les pressions maximales d'eau susceptibles d'être obtenues devront être estimées et le revêtement des liaisons jour-fond devra être dimensionné en conséquence.

E14.2 L'Andra présentera les dispositifs de maîtrise des eaux qui seront mis en place au niveau du Barrois dans les puits et dans la descenderie. Pour ce qui concerne les dispositifs d'étanchéité, l'Andra précisera leur objectif de performance, les dispositions de contrôle de leur efficacité, ainsi que les conséquences d'un éventuel défaut et les dispositions associées pour y remédier. Pour ce qui concerne les dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux drainées l'Andra justifiera, au regard des quantités d'eau susceptibles d'être recueillies, le dimensionnement des capacités de rétention et des débits d'évacuation. En outre, l'Andra évaluera, sur la base de premières investigations de terrain, la présence éventuelle de poches karstiques à proximité des liaisons jour-fond et présentera sa stratégie vis-à-vis d'éventuels compléments d'investigation et de gestion de ces poches.

**1.4 MISE A JOUR DE L'ANALYSE DES INCERTITUDES EN PHASE APRES-FERMETURE****E15 : Pour ce qui concerne l'évaluation des capacités de confinement des différentes barrières du stockage après sa fermeture**

E15.1 Lorsque le site d'implantation du stockage aura été retenu l'Andra déterminera le spectre SMP de référence pour la phase de post-fermeture, à partir de différents modèles sismotectoniques, dont un basé sur une analyse de la dimension et de la segmentation des failles du secteur de MHM. L'Andra justifiera sur cette base en outre le poids attribué à chacun de ces modèles sismotectoniques dans la définition du spectre SMP.

E15.2 L'Andra évaluera les incertitudes concernant le transfert de gaz et le processus de resaturation du stockage et précisera la manière dont elles sont prises en compte dans l'évaluation de sûreté de cette installation.

E15.3 L'Andra justifiera que la solution technique retenue pour le bouchon d'alvéole HA bénéficie de suffisamment d'éléments probants quant à sa faisabilité industrielle et est bien en adéquation avec les exigences de sûreté en phase d'exploitation et en phase de post-fermeture.

E15.4 L'Andra précisera l'option de scellement de la descenderie et évaluera la robustesse de ce concept en termes de faisabilité et de performance globale.

E15.5 L'Andra précisera le mode de croisement de galeries et son dimensionnement et vérifiera leur adéquation avec les exigences de sûreté en phase de post-fermeture.

## 1.5 NOUVELLES OPTIONS DE CONCEPTION

*E16 : Pour ce qui concerne les nouvelles options de conception*

L'Andra évaluera la sûreté en phase d'exploitation et de post-fermeture de l'option de conception qui sera retenue pour les colis de déchets MAVL vitrifiés.

## 1.6 RETOUR D'EXPERIENCE DU LABORATOIRE SOUTERRAIN

*E17 : Pour ce qui concerne la prise en compte du REX du Laboratoire Souterrain*

E17.1 L'Andra présentera une analyse comparative des techniques de creusement intégrant notamment le retour d'expérience issu du Laboratoire souterrain et justifiera, sur cette base, celles qui seront retenues pour le creusement des ouvrages du futur stockage.

E17.2 L'Andra présentera la manière dont elle a exploité et exploitera les connaissances et le savoir-faire acquis au Laboratoire souterrain pour améliorer les activités d'exploitation et d'auscultation dans le futur stockage.

## 2 DANS LE CADRE DU PNGMDR

*E18 : Pour ce qui concerne les installations d'entreposage*

E18.1 Dans l'optique d'un approfondissement de l'étude relative aux chroniques de mise en stockage des colis, l'Andra mettra en cohérence les hypothèses utilisées pour évaluer les besoins en termes de capacités d'entreposage et pour dimensionner l'installation de stockage.

E18.2 Lors de la prochaine mise à jour de son évaluation des besoins en capacités d'entreposage, l'Andra tiendra compte notamment des évolutions des installations d'entreposage existantes et du retour d'expérience de leur exploitation, sous réserve de la mise à disposition de l'Andra de ces informations.



## ANNEXE 9 - REFERENCES DES DOCUMENTS ET BIBLIOGRAPHIE

### *Documents Andra*

	Titre	Référence
	<i>Dossier 2009</i>	
[1]	Options de sûreté du stockage en formation géologique profonde	C.NT.ASSN.09.0029/B
[2]	Options de conception du stockage en formation géologique profonde	C.NSY.ASTE.08.0429/A
[3]	Options de réversibilité du stockage en formation géologique profonde	C.NT.AHVL.09.0005/B
[4]	Référentiel de connaissances et modèle d'inventaire des colis de déchets à haute activité et à moyenne activité à vie longue	C.RP.AHVL.09.0114/A
[5]	Inventaire des capacités d'entreposage existantes, état d'avancement des études de concepts d'entreposage, propositions d'options à étudier après 2009	C.RP.ADP.08.0038/B
	<i>Documents issus de la demande de renouvellement de l'autorisation d'exploitation du laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne (DAIE)</i>	
[6]	Mémoire	C.NSY.ADP.09.0027/A
[7]	Cahier des charges	D.DO.ASAJ.09.0045/A
	<i>Documents complémentaires transmis par l'Andra au cours de l'instruction</i>	
[8]	Conception, construction et fermeture d'alvéoles de stockage HA et CU3	C.NSY.ASTE.08.0165/A
[9]	Dimensionnement et architecture générale d'un stockage. Site de Meuse/Haute-Marne	C.NSY.ASTE.08.0171/A
[10]	Conception, construction et fermeture d'alvéoles de stockage MAVL	C.NSY.ASTE.08.0166/A
[11]	Transfert, mise en alvéole et retrait des colis de stockage HA et CU3	C.NSY.ASTE.08.0164/A
[12]	Projet HA-MAVL - Dossier 2009 - Options de conception étudiées - Synthèse des évaluations de performance vis-à-vis du critère Sûreté Après Fermeture (SAF)	C.NT.AEAP.09.0010/A
[13]	Projet HA-MAVL - Dossier 2009 - Options de conception étudiées - Rapport détaillé des évaluations de performance vis-à-vis du critère Sûreté Après Fermeture (SAF)	C.N.AEAP.09.0013/A
[14]	Les installations nucléaires - Analyse préliminaire du risque incendie en phase d'exploitation - Installations de transfert et souterraines	C.NT.ASSN.09.0043/A
[15]	Référentiel du site Meuse/Haute-Marne (3 tomes)	C.RP.ADS.09.0007/B
[16]	Analyse préliminaire des risques liés au transfert et à la manutention des colis HA et MAVL - Installations souterraines	C.NT.ASSN.09.0039A
[17]	Transfert, mise en alvéole et retrait des colis de stockage MAVL	C.NSY.ASTE.08.0163/A
[18]	Analyse préliminaire du risque de chutes d'avions - Installations de surface HA-MAVL	C.NT.ASSN.09.0047/A
[19]	Les installations nucléaires - Analyse préliminaire du risque incendie en phase d'exploitation - Installations de surface	C.NT.ASSN.09.0042/A
[20]	Les entreposages des déchets radioactifs et combustibles usés dans différents pays	INT.RP.ADAI.07.0009/B
[21]	Analyse Phénoménologique des Situations de Stockage (APSS) - en exploitation. Mise à jour pour le choix d'options	C.NT.AEAP.09.0014/B
[22]	Projet HAVL - Jalon 2009 - Observation - surveillance des ouvrages du stockage - Retour d'expériences, qualification et bilan des R&D en auscultation	C.RP.ASTR.09.0007/A
[23]	Gestion de la présence d'une atmosphère explosive - Analyse préliminaire du risque explosion - Installations de transfert et souterraines	C.NT.ASSN .09.0044/A
[24]	Risque de criticité et modes de contrôles (Installations fond)	C.NT.ASSN.09.0048/A
[25]	Projet HA-VL - Etude de sensibilité de la performance du stockage au couple (épaisseur, gradient de charge) du Callovo-Oxfordien sur la zone de transposition	C.NT.AEAP.08.0095/A
[26]	Lot M18-3 : Campagne de sismique 2D et activités connexes. Interprétation et	C.RP.OBEI.08.0001/A

	inversion des sonnées sismiques 2D : Rapport final. Campagne de reconnaissance de la zone de transposition 2007 - 2008. Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne	
[27]	Sismique 2D. Retraitement des profils recoupant le fossé de Gondrecourt. Secteur de Meuse/Haute-Marne	C.RP.0BRG.08.8109/A
[28]	Etude de la faille de Vittel - Recherche et analyse de traces d'activité récente	C.RP.0GTR.08.0001/A
[29]	Estimation de la variabilité spatiale des mouvements sismiques sur la zone de transposition. Secteur de Meuse/Haute Marne	C.RP.0GTR.09.0001/A
	<i>Documents transmis par l'Andra avant l'instruction</i>	
[30]	Synthèse du programme de reconnaissance de la zone de transposition 2007-2008. Centre de Meuse/Haute-Marne	D.RP.ALS.08.1356/B
[31]	Site de Meuse/Haute-Marne. Cartographie géologique et structurale de l'environnement régional du site (3 Volumes)	D.RP.0G2R.00.003/A
[32]	Site de Meuse/Haute-Marne. Complément du modèle structural de secteur. Complément à l'interprétation des profils sismiques 2D, interprétation des 6 nouveaux profils sismiques et conversion temps/profondeur	C.RP.1GTR.03.001/B
[33]	Stockage réversible profond. Proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scénarios d'implantation en surface	CRP.ADP.09.0035/A
[34]	Site de Meuse/Haute-Marne. Estimation des séismes de référence. Période d'exploitation d'un stockage : SMHV & SMS. Première approche pour le SMPP	C.RP.0GTR.02.003/A
[35]	Aléa sismique. Consolidation de l'approche déterministe, essais préliminaire d'une approche probabiliste. Site Meuse/Haute-Marne	C.RP.0GTR.04.0013/A

*Références des réponses transmises par l'Andra lors de l'instruction*

- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0062 du 25 mai 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0063 du 26 mai 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0069 du 21 juin 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0075 du 25 juin 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0076 du 25 juin 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0077 du 16 juillet 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0078 du 2 juillet 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0079 du 8 juillet 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0080 du 24 juin 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0081 du 24 juin 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0082 du 2 juillet 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0083 du 7 juillet 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0084 du 16 juillet 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0089 du 16 juillet 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0091 du 13 juillet 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0096 du 8 juillet 2010
- Lettre Andra-DMR/DIR/10-0110 du 2 août 2010



### *Références des guides et RFS*

[ASN, 2008] Autorité de sûreté nucléaire (2008) guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde.

RFS n° 2001-01 du 30 mai 2006 relative aux installations nucléaires de base - Détermination du risque sismique pour la sûreté des installations nucléaires de base de surface (Installations nucléaires de base à l'exception des stockages à long terme de déchets radioactifs)

### *Références bibliographiques*

André, G. (2003) Caractérisation des déformations méso-cénozoïques et des circulations de fluides dans l'Est du Bassin de Paris. PhD Thesis, Université Henri Poincaré, Nancy, 311 pp

André G., Hibsich C., Fourcade S, Cathelineau M., Buschaert S. (2010) Chronology of fracture sealing under a meteoric fluid environment: Microtectonic and isotopic evidence of major Cainozoic events in the eastern Paris Basin (France). *Tectonophysics*, 490, 214-228

Autran A., Bles J.-L., Combes PH., Cushing M., Dominique P., Durouchoux Ch., Mohammadioun B., Terrier M. (1998) Working Group EPAS Probabilistic Seismic Hazard Assessment in France, Part 1: Seismotectonic Zonation, ECEE'98, Paris

Bastiaens, W., Bernier, F & Li, X.L. SELFRAC: Experiments and conclusions on fracturing, self-healing and self-sealing processes in clays, *Physics and Chemistry of the Earth* 32 (2007) pp. 600-615

Berge-Thierry C., Cushing E., Scotti O. and Bonilla F. (2004) Determination of the Seismic Input in France for the Nuclear Power Plants Safety: regulatory context, hypothesis and uncertainties treatment. Proceedings of the CSNI Workshop on seismic input motions, incorporating recent geological studies, Tsukuba, Japan 15-17 November 2004.

BIOMASS (2003) "Reference Biospheres" for solid radioactive waste disposal, BIOsphere Modelling and ASSESSment Programme, IAEA, July 2003

Boulin, P. (2008) Expérimentation et Modélisation du transfert d'hydrogène à travers des argiles de centre de stockage de déchets radioactifs, thèse de l'INPG.

Cuss, R.J., Milodowski, A. Noy, D.J., Harrington J.F. (2010) Fracture transmissivity as a function of normal and shear stress: first results in Opalinus clay. Nantes, 2010

Dufour *et al.* Hydromechanical post-closure behaviour of a deep tunnel taking into account a simplified life cycle. Soumis à *International Journal of Geomechanics*.

Gaudin, A., Gaboreau, S., Tinseau, E., Bartier, D., Petit, S., Grauby, O., Foct, F., Beaufort, D. (2009) Mineralogical reactions in the Tournemire argillite after in-situ interaction with steels. *Applied Clay Science* 43, 196-207

Jia, Y., Bian, H. B., Dureau, G., Su, K., Shao, J. F. (2009) Numerical modelling of in situ behaviour of the Callovo-Oxfordian argillite subjected to the thermal loading. *Engineering Geology* 109, pp. 262-272.

Kazmierczak, J.B, Laouafa, F., Ghoreychi, M. Lebon, P., Barnichon, J.D. (2007) Influence of creep on water pressure measured from borehole tests in the Meuse/Haute-Marne Callovo-Oxfordian argillites. *Phys. & Chem. of the Earth* 32 pp.917-921

Kijko, A. (2002) Statistical estimation of maximum regional magnitude  $m_{max}$ . Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, September 9-13

- Marsal, F., De Windt, L., Pellegrini, D. (2010) Modeling of the oxic stage in a borehole at Tournemire : Application to HLW disposal cells. Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, Nantes 2010
- Nocquet J.-M. & Calais E. (2003) Crustal velocity field of western Europe from permanent GPS array solutions, 1996-2001. *Geophys. J. Int.*, 154, 72-88
- SELFRACT (2007). Fractures and Self-healing within the Excavation Disturbed Zone in Clays (SELFRACT) - Final Report. EUR 22587.
- Shao, H., Schuster, K., Sönnke, J. Bräuer, V. (2008) EDZ development in indurated clay formations - In situ borehole measurements and coupled HM modelling”, Shao et al., *Phys. & Chem. of the Earth* 33, S388-S395.
- Talandier, J. (2008) Benchmark Couplex-Gaz. Synthèse des résultats et enseignements », Journées scientifiques du GNR MOMAS, Lyon, 4-5 septembre 2008.
- Volckaert, G., Dereeper, B., Put, M., Ortiz, L., Gens, A., Vaunat, J., Villar, M.V., Martin, P.L., Imbert, C., Lassabatère, T., Mouche, E. and Cany, F. (2000) A large-scale in situ demonstration test for repository sealing in an argillaceous host rock. RESEAL project - Phase I. European Commission, Luxembourg, EUR 19612, 273 pp.
- Wells D. L. & Coppersmith K. J. (1994) New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 4, 974-1002.

## ANNEXE 10 - BESOINS EN TERMES DE CAPACITES D'ENTREPOSAGE

Cette annexe a pour objectif de détailler les différents points abordés dans le paragraphe 5.1.2 du présent rapport relatif aux entreposages.

### 1. Scénarios de production et de mise en stockage des colis de déchets

Pour ce qui concerne l'acheminement des déchets dans les alvéoles de l'installation de stockage (ou « mise en stockage »), celui-ci est supposé débuter en 2025 avec d'une part les colis de déchets bitumés produits « avant 1996 » par l'installation STEL de Marcoule (colis de déchets MAVL entreposés dans les casemates 1 à 13), d'autre part les colis de déchets vitrifiés produits par les ateliers PIVER et AVM de Marcoule (colis de déchets HA de puissance thermique modérée entreposés respectivement dans le bâtiment 213 et les fosses AVM). A cet égard, l'Andra souligne qu'un des avantages de débuter les opérations de mise en stockage par les colis de déchets actuellement entreposés dans les casemates 1 à 13, le bâtiment 213 et les fosses AVM, est de permettre, en priorité, l'évacuation de colis de déchets entreposés dans des installations de conception « ancienne » (années 1960 et 1970), tout en limitant les quantités à faire transiter dans une installation d'entreposage de conception plus récente, voire en s'en dispensant.

A partir de 2025, le flux annuel de colis de déchets MAVL acheminés dans les alvéoles de stockage augmente continuellement pour atteindre une valeur maximale entre 2045 et 2050 (nécessité d'exploiter 4 modules de stockage en même temps). Parmi les colis de déchets MAVL concernés, figurent principalement ceux en provenance des établissements de La Hague et de Marcoule. En parallèle des colis de déchets MAVL et consécutivement au colis de déchets vitrifiés produits par les ateliers PIVER et AVM, les colis de déchets HA mis en stockage jusqu'en 2050 sont également de puissance thermique modérée et constitués, d'une part des colis de déchets vitrifiés produits par l'atelier R7 (établissement de La Hague) à partir des solutions molybdiques, d'autre part des colis de combustibles usés éliminés en l'état, actuellement entreposés sur les sites du CEA (installation CASCAD de Cadarache notamment).

Après 2050, le flux annuel de colis de déchets MAVL acheminés dans les alvéoles de stockage diminue progressivement pour devenir nul à l'horizon 2080. Les colis de déchets MAVL concernés proviennent des établissements de La Hague et de Marcoule, des centres CEA de Fontenay-aux-Roses, Saclay, Cadarache, Grenoble, Marcoule et Valduc, ainsi que des réacteurs de puissance (après regroupement sur le site de Bugey). Pour le cas particulier des colis de déchets MAVL qui seront produits à partir des déchets technologiques  $\alpha$  provenant du recyclage du Pu (regroupés sur l'établissement de La Hague - procédé de conditionnement à l'étude), l'Andra envisage de les réceptionner dans l'installation de stockage entre 2100 et 2150.

Après 2050 également et en parallèle des colis de déchets MAVL, débutera la mise en stockage des colis de déchets HA de forte puissance thermique (colis de déchets vitrifiés résultant du traitement du combustible REL-UOX/MOX essentiellement). En effet, à cette échéance, les colis de déchets vitrifiés produits par l'atelier R7 durant sa première année d'exploitation seront entreposés depuis 60 ans et auront une puissance thermique résiduelle suffisamment faible pour permettre leur stockage. Finalement, les derniers colis de déchets HA de forte puissance thermique devraient être acheminés dans les alvéoles de stockage entre 2120 et 2150. L'IRSN rappelle que les modules de stockage des colis de déchets HA sont dimensionnés pour que la température de la roche hôte ne dépasse pas 90 °C ; cette température dépend notamment de l'espacement entre les alvéoles adjacentes, du nombre de colis de déchets vitrifiés introduits par alvéole et de leur puissance thermique au moment de l'introduction dans l'alvéole (documents [références 3 à 7]). En regard du dernier paramètre, l'Andra envisage

deux alternatives : soit les colis de déchets vitrifiés seront préalablement entreposés entre 60 ans et 70 ans pour que leur puissance thermique individuelle décroisse jusqu'à 500 W/colis ou moins, soit les colis de déchets vitrifiés seront préalablement entreposés entre 90 ans et 100 ans pour que leur puissance thermique individuelle décroisse jusqu'à 300 W/colis ou moins. Toutes choses égales par ailleurs, l'Andra souligne que par rapport à la première alternative, la deuxième alternative permet de réduire d'environ un tiers l'emprise de la zone de stockage des colis de déchets HA de forte puissance thermique.

## 2. Besoins en termes de capacités d'entreposage des colis de déchets

### *Installations d'entreposage de colis de déchets existantes*

A l'échéance de leur mise en stockage, les colis de déchets conditionnés HA et MAVL devraient se trouver regroupés sur les sites nucléaires de La Hague, Marcoule, Cadarache et Bugey (ainsi que Valduc, mais le volume total de déchets conditionnés MAVL estimé reste inférieur à 100 m<sup>3</sup>). Le tableau A-10-a ci-après synthétise les installations implantées sur ces sites (ou qui le seront) prises en compte par l'Andra et dans lesquelles les principaux types de colis de déchets conditionnés HA et MAVL sont entreposés ou prévus d'être entreposés à court, moyen ou plus long terme.

**Tableau A-10-a:** principaux types de colis de déchets HA & MAVL et installations considérées par l'Andra dans lesquelles ils sont entreposés ou prévus d'être entreposés à court, moyen ou plus long termes avant leur mise en stockage

Type de colis de déchets conditionnés	Installations d'entreposage en exploitation			
	Actuellement	Programmée avant 2016	Envisagée entre 2016 et 2025	Envisagée après 2025
HA déchets vitrifiés de forte puissance thermique	La Hague : R7(1), T7(1) & EEV SE(1)	La Hague : EEV LH (première fosse)(1)	La Hague : EEV LH (deuxième fosse)(1)	La Hague ou site de stockage : plusieurs installations nécessaires
HA déchets vitrifiés de puissance thermique modérée	La Hague : R7(1), T7(1) & EEV SE(1) Marcoule : bât. 213(2) & AVM(1)(2)	La Hague : EEV LH (première fosse)(1)	La Hague : EEV LH (deuxième fosse)(1)	/
HA combustible usé éliminé en l'état	Cadarache : CASCAD	/	/	/
MAVL déchets de structure compactés	La Hague : ECC	/	La Hague : une extension d'ECC	/
MAVL déchets bitumés	La Hague : STE3 Marcoule : EIP & casemates 1 à 14	/	Marcoule : IAE	/
MAVL déchets cimentés	La Hague : EDC, EDT, ADT & D/E EDS Cadarache : CEDRA	Cadarache : CEDRA (tranches 2, 3 & 4)	/	La Hague ou site de stockage : une installation éventuelle
MAVL conditionnement à confirmer ou à définir	La Hague : STE3 Marcoule : EIP	Marcoule : DIADEM Bugey : ICEDA	Marcoule : IAE	La Hague ou site de stockage : une installation éventuelle

(1) : installations dans lesquelles sont également entreposés des colis de déchets vitrifiés MAVL

(2) : installations dans lesquelles sont également entreposés des déchets technologiques MAVL

### *Installations d'entreposage de colis de déchets à construire*

Pour ce qui concerne les colis de déchets vitrifiés de puissance thermique modérée, l'Andra envisage leur entreposage dans les installations actuelles (CEA/Marcoule : bâtiment 213 et fosses AVM) jusqu'à leur évacuation complète vers l'installation de stockage. Ceci conduirait à la vacuité du bâtiment 213 et des fosses AVM respectivement vers 2030 et 2040-2045, soit une durée d'exploitation supérieure à 60 ans pour le bâtiment 213 et les fosses AVM les plus anciennes et d'environ 50 ans pour les fosses AVM les plus récentes.

Pour ce qui concerne les combustibles usés éliminés en l'état, l'Andra envisage leur entreposage dans l'installation actuelle (CASCAD) jusqu'à leur évacuation complète vers l'installation de stockage. Ceci conduirait à la vacuité de l'installation CASCAD vers 2050, soit une durée d'exploitation d'environ 60 ans.

Pour ce qui concerne les déchets vitrifiés de forte puissance thermique, l'Andra envisage de les laisser refroidir entre 60 ans et 70 ans (ou entre 90 ans et 100 ans) avant de les introduire dans les alvéoles de stockage. Compte tenu de cette contrainte, de l'échelonnement de leur production entre 1990 et 2055 et de la quantité totale de colis de déchets à stocker (estimée à presque 41 000 unités), en plus des installations d'entreposage en exploitation (R7, T7 et EEV SE) et en construction (EEV LH), l'Andra a déterminé que plusieurs installations d'entreposage supplémentaires, de capacité unitaire comprise entre 4 000 et 5 000 colis de déchets vitrifiés, devraient être construites. Selon l'alternative retenue en termes de refroidissement des colis de déchets vitrifiés préalablement à leur mise en stockage (soixante ou centaine d'années), le nombre d'installations à construire pourrait varier entre 5 et 6 selon l'Andra [5], pour des durées d'exploitation comprises entre 60 ans et 105 ans ; ces éléments sont synthétisés dans le tableau A-10-b ci-après.

**Tableau A-10-b** : estimation par l'Andra du nombre d'installations d'entreposage nécessaires et de la durée de leur exploitation en fonction du refroidissement des colis de déchets vitrifiés avant leur mise en stockage

Installations d'entreposage	Nombre d'années d'exploitation des installations d'entreposage (ans)			
	Cases [ ] : évacuation directe des colis de déchets vitrifiés vers les alvéoles de stockage			
R7, T7 & EEV SE	80	60	60	60
EEV LH	85	85	90	100
Installation supplémentaire 1	80	80	105	105
Installation supplémentaire 2	80	80	105	105
Installation supplémentaire 3	80	80	105	105
Installation supplémentaire 4	80	80	105	105
Installation supplémentaire 5	80	80	105	105
Installation supplémentaire 6	(non requise)	95	85	85
Module(s) lié(s) réversibilité	(éventuellement)	(éventuellement)	(éventuellement)	(éventuellement)
	60 à 70	86 à 94	94 à 103	101 à 107
	Temps de refroidissement des colis de déchets (ans)			

Pour ce qui concerne les colis de déchets bitumés MAVL présents dans les casemates 1 à 14 au CEA/Marcoule, l'Andra envisage un entreposage dans celles-ci jusqu'à leur évacuation complète, dans un premier temps (de 2007 à 2025), vers l'installation EIP puis une nouvelle installation d'entreposage (IAE - en projet), dans un second temps (à partir de 2025), directement vers l'installation de stockage. La vacuité des casemates s'échelonne alors entre 2010 et 2036, soit une durée d'exploitation comprise entre 35 ans et 45 ans selon la casemate considérée. Les colis de déchets bitumés MAVL repris des casemates jusqu'en 2025 et entreposés dans l'installation IAE pourraient être également acheminés dans les alvéoles de stockage entre 2025 et 2036, ce qui à cette échéance rendrait disponible cette installation pour y entreposer d'autres familles de colis de déchets MAVL. Par ailleurs, le dimensionnement de l'installation IAE prendrait en compte la totalité des colis de déchets bitumés entreposés dans les casemates (43 % MAVL, 53 % FAVL et 4 % FMAVC). L'IRSN rappelle que l'évacuation des colis de déchets bitumés entreposés dans les casemates 1 à 14 a fait l'objet de nombreux engagements successifs de la part de l'exploitant, conduisant à l'envisager initialement entre 2003 et 2017, dernièrement entre 2007 et 2035. L'IRSN note en outre que le principe d'un transfert des colis de déchets bitumés repris des casemates vers des installations d'entreposage de conception « récente » (EIP puis IAE) est cohérent avec la poursuite de ces opérations tout en s'affranchissant de l'échéance de mise en exploitation de l'installation de stockage. En effet, si cette échéance devait être reportée au-delà de 2025, l'installation IAE pourrait être dimensionnée en conséquence.

Pour ce qui concerne tous les autres colis de déchets MAVL, l'Andra envisage leur entreposage dans les installations actuelles (ECC, EDC, EDT, ADT, D/E EDS, STE3, EIP et CEDRA) et celles en construction ou projetées à moyen terme (tranches supplémentaires CEDRA, DIADEM, ICEDA, extension d'ECC et IAE), jusqu'à leur évacuation complète vers l'installation de stockage ou une nouvelle installation d'entreposage (cas notamment des colis de déchets MAVL qui devraient être produits à partir des déchets technologiques  $\alpha$  provenant du recyclage du Pu). Ceci conduirait à une durée d'exploitation comprise entre 40 ans et 60 ans pour toutes ces installations d'entreposage.

## ANNEXE 11 - INVESTIGATIONS GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES REALISEES PAR L'ANDRA ENTRE 1994 ET 2009

La cartographie géologique, réalisée initialement par l'Andra en 1994, couvrait une surface de 700 km<sup>2</sup>. Cette cartographie s'appuyait sur des observations classiques de terrain, des analyses géomorphologiques et les données des campagnes sismiques pétrolières réalisées entre 1978 et 1989. Entre 1994 et 1997, 34 profils du Bassin Houiller Sarro-Lorrain ont été retraités et calés sur 11 forages ; 4 autres forages de reconnaissance géologique ont été réalisés dans le secteur dont 2 profonds (l'un foré jusqu'au Dogger, l'autre jusqu'au Lias) et carottés, et 3 forages non carottés ont été réalisés à des fins géologiques, géotechnique, géochimiques et géomécanique dans l'emprise du laboratoire.

En 1999, une campagne de sismique 3D d'environ 4 km<sup>2</sup> (cf. Figure 1 du chapitre 4 du présent rapport) a contribué à préciser la connaissance de la géologie à l'échelle locale (échelle du laboratoire souterrain). En 2000, l'Andra a engagé des recherches cartographiques, structurales et microtectoniques complémentaires, sur un périmètre d'environ 350 km<sup>2</sup> au Sud du laboratoire [31].

En 2003, les résultats de la sismique 3D de 1999 ainsi que 6 profils sismiques 2D de 1994-1997 ont été retraités, et le modèle structural a été consolidé par une réinterprétation de l'ensemble des sections sismiques 2D [32]. Sept forages profonds ont également été réalisés, afin notamment de préciser l'hydrogéologie du secteur de MHM. En 2003-2004, 8 autres forages (dont 4 obliques) ont été creusés pour préciser la géologie et l'hydrogéologie, et améliorer la caractérisation géomécanique de la formation hôte, dans le secteur du laboratoire.

Les puits d'accès principal (PA) et auxiliaire (PX) du laboratoire souterrain ont été réalisés entre 2000 et 2004 ; sept forages, réalisés entre 1995 et 2004, ont servi au suivi de la perturbation hydraulique due au creusement de ces puits. En 2004, une galerie a été creusée à 445 m de profondeur à partir du PA, et le creusement d'un réseau de galeries a débuté à partir du PX à 490 m de profondeur (correspondant au niveau lithologique de la couche hôte étudié pour l'implantation du futur stockage). A ce jour, plus de 700 m de galeries ont été excavées.

En 2007-2008, une campagne de reconnaissance complémentaire de la ZT (cf. Figure 1 et [30]) a eu pour objectif de compléter la caractérisation du contexte sédimentaire et structural du secteur de MHM. Elle a principalement consisté en une campagne de quatorze forages géologiques (dont 10 dans la ZT) ciblant le Callovo-Oxfordien ou ses encaissants calcaires ainsi qu'un forage profond atteignant la base du Trias, une campagne de onze profils de sismique 2D, et des levés cartographiques de terrain complétés par des profils de résistivité électrique et des forages de terrain superficiel pour préciser le tracé des failles de la zone de fracturation diffuse, les faisceaux de Gondrecourt et de la Marne. Les profils sismiques ont fait l'objet d'une conversion temps-profondeur, par calibrage au niveau des forages géologiques et correction des vitesses proches de la surface à partir de nombreux forages courts (VT).

Enfin, au sein de la ZT et à partir de critères quantitatifs (gradient hydraulique vertical inférieur à 0,2 m/m, épaisseur de la couche supérieure à 140 m et profondeur du milieu de la couche limitée à 600 m), de critères techniques d'implantation en surface ou liés à la construction, de critères d'insertion locale et suite au dialogue avec les acteurs locaux, l'Andra a sélectionné une ZIRA en 2009 [33].

## ANNEXE 12 - EVALUATIONS QUANTITATIVES DE LA SENSIBILITE DU TRANSFERT DES RADIONUCLEIDES DANS LE STOCKAGE A LA VALEUR DU COEFFICIENT DE DIFFUSION DANS LE CALLOVO-OXFORDIEN

L'IRSN a réalisé, à l'aide du logiciel Melodie, un modèle numérique simplifié de la zone de stockage de déchets MAVL sur la base des hypothèses et des données retenues par l'Andra dans le Dossier 2009. Ce modèle n'a pour but que d'étudier la sensibilité de la voie de transfert par les ouvrages au coefficient de diffusion de la roche hôte. Pour rappel, la valeur du coefficient de diffusion retenue pour les évaluations était de  $10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s dans le Dossier 2005. En 2009, cette valeur actualisée, suite à de nouvelles mesures, se situe dans une gamme comprise entre 6,1 et  $7 \cdot 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s. Dans le modèle de l'IRSN (Figure A-11), la zone de stockage MAVL est constituée de deux modules de trois alvéoles passants fermés à leurs extrémités par des scellements et entourés par deux galeries de retour d'air. L'EDZ n'est pas interrompue par les scellements et la zone de stockage est connectée à un puits d'accès.

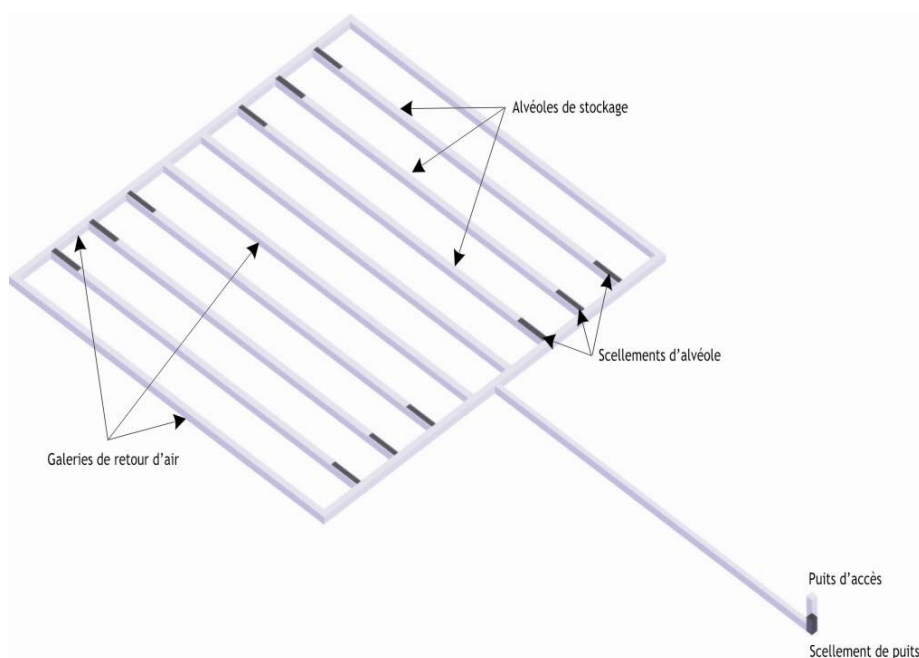


Figure A-11: Schématisation du modèle utilisé par l'IRSN

L'évaluation de l'influence des différentes voies de transfert (Callovo-Oxfordien et ouvrages) sur la migration des radionucléides dans le stockage est réalisée par l'intermédiaire de calculs des débits d'activité au toit du Callovo-Oxfordien et à la sortie du puits. A partir de ces résultats, d'autres indicateurs tels que le rapport des maxima (entre le puits et le toit) et la répartition de l'activité entre les deux voies de transfert sont calculés afin de compléter l'analyse.

Les résultats, synthétisés dans le Tableau A-11 ci-après, montrent qu'une diminution du coefficient de diffusion dans le Callovo-Oxfordien ( $6,1 \cdot 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s) entraîne une diminution notable des débits d'activité (~40 %) au toit du Callovo-Oxfordien accompagnée d'une augmentation importante des débits d'activité à la sortie du puits (~80 %). Avec les données de 2005 ( $10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s), le rapport des maxima est de 0,1 et 8,9 % de l'activité relâchée sort par le puits. Avec les données de 2009, le rapport passe à 0,3 et la proportion d'activité relâchée par le puits à 17,6 %. Ces observations tendent à montrer que la diminution du coefficient de diffusion dans le Callovo-Oxfordien, hypothèse favorable vis-à-vis du transfert d'activité à travers la roche hôte, induit *de facto* une augmentation du transfert d'activité vers le puits sans toutefois avoir d'influence significative sur les cinétiques de transfert de



l'activité vers le puits. Globalement, l'actualisation des données du Callovo-Oxfordien conduit à retenir, une plus grande proportion de l'activité dans le stockage.

Coefficient de diffusion dans le COX		10 <sup>-10</sup> m <sup>2</sup> /s (Dossier 2005)		6.1 10 <sup>-11</sup> m <sup>2</sup> /s (Dossier 2009)	
Pics D'activité		Ans	Bq/an	Ans	Bq/an
	Toit COX	2,6 10 <sup>+05</sup>	6,5 10 <sup>+03</sup>	4,0 10 <sup>+05</sup>	4,0 10 <sup>+03</sup> (↘ 40 %)
	Sortie Puits	1,2 10 <sup>+05</sup>	6,7 10 <sup>+02</sup>	9,5 10 <sup>+04</sup>	1,2 10 <sup>+03</sup> (↗ 80 %)
Rapport des maxima (Puits/Toit)		0,1		0,3	
Activité totale (Bq)	Toit COX	3,9 10 <sup>+09</sup>		2,7 10 <sup>+09</sup>	
	Sortie Puits	3,8 10 <sup>+08</sup>		5,8 10 <sup>+08</sup>	
Pourcentage (Puits/Puits+Toit)		8,9 %		17,6 %	

Tableau A-11 : Synthèse des résultats des simulations